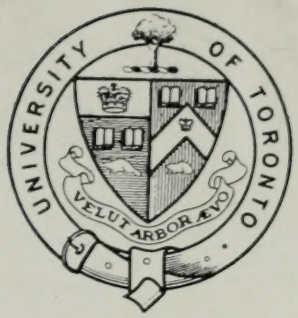
31761 07475233 8

GB
501
P4



Presented to
The Library
of the
University of Toronto
by
Herbert Otto Frind, Esq.

Digitized by the Internet Archive
in 2010 with funding from
University of Toronto

http://www.archive.org/details/naturgewaltenimh00penc

Naturgewalten im Hochgebirge

Ein treuer Begleiter für jeden Alpinisten:

Heinrich Marzell, Die Pflanzenwelt der Alpen.

Eine Einführung in die Kenntnis und die Lebensverhältnisse unserer häufigsten Alpenpflanzen. Mit 48 Abbildungen auf ein- und mehrfarbigen Tafeln und 16 Abbildungen .....im Text. 102 Seiten.....
Geheftet M 1.—, gebunden M 1.40

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Tafel 1.

Phot. Tairraz.

Gletscherbruch (séracs) am Argentièregletscher (Mont-Blanc-Gruppe). Nach Tairraz. Der Eisstrom ist in ein Chaos von Türmen aufgelöst. Die Unterlage des Gletschers ist so steil, daß das Eis den inneren Zusammenhang verliert.

Naturgewalten im Hochgebirge

Von Dr. Walther Penck

Mit 6 Abbildungen im Text
und 30 Abbildungen
auf Tafeln

Viertes Tausend

Verlegt bei Strecker & Schröder
Stuttgart 1912

GB
501
P4

Alle Rechte einschließlich des Übersetzungsrechtes in fremde Sprachen von der Verlagsbuchhandlung vorbehalten

Copyright by Strecker & Schröder, Stuttgart, March 1912

796224

Druck von Strecker & Schröder in Stuttgart
Maschinenglattes Werkdruckpapier von Bohnenberger & Cie., Papierfabrik, Niefern in Baden

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
Allgemeine Erscheinungen der Abtragung im Hochgebirge	3
Wildbäche und Muren	34
Bergschlipfe und Bergstürze	60
Lawinen	93
Eislawinen	115
Schlußwort	123
Literaturverzeichnis	124

Einleitung.

Wie oft hören wir von Unglücksfällen, von Verschüttungen und Katastrophen, die einzelne Menschen, ganze Dörfer in den Hochtälern der Alpen betroffen haben! Unser ganzes Interesse, unser ganzes Mitleid wird erregt, wenn wir etwa lesen: „Folgen eines Bergsturzes. In St. Anton erfolgte, wie uns ein Telegramm aus St. Pölten meldet, ein großer Bergsturz. Eine Bergwand mit 5 ha Wald stürzte in den Reibach, der verschüttet wurde. Der Bach staute sich zu einem See, der 1 km lang und 20 m tief ist. Das Wohnhaus einer Holzarbeiterfamilie wurde von den gewaltigen Erdmassen hinweggerissen.“ (11. Mai 1910.) Ob es sich um Bergstürze, Vermurungen oder Lawinen handelt, stets tritt das wirtschaftliche Moment in den Vordergrund. Der angerichtete Schaden, das Unglück, das Menschenopfer verlangt hat, gehen den Menschen viel näher an als die Bedeutung, die diese Vorgänge für die Natur selbst haben könnten. Und doch, wie tief und deutlich sind ihre Spuren im Landschaftsbild! Überall erkennen wir im zerfurchten Antlitz des Hochgebirges die Züge und Linien, die ihm durch die Naturgewalten eingegraben worden sind.

Es verhält sich mit dem Betrachten eines Landschaftsbildes geradeso wie mit dem eines Kunstwerkes; der Kenner versteht und sieht und genießt. So ist dem Verständigen auch die Natur vor allem erschlossen. Er verfolgt die einzelnen Linien im Relief der Erdoberfläche; er ist bestrebt, diese verborgene Schrift zu entziffern, Ursache und Wirkung zu erkennen. So ist er bevorzugt vor dem Laien, denn bei ihm verbindet sich die rein ästhetische Freude am Schönen, an den Farben und Formen der Bergwelt mit dem Bewußtsein, das, was er sieht, auch zu verstehen. Der Geologe sieht das bunte Auf und Ab von Berg und Tal und erkennt die Bausteine und Kräfte, die das Bewunderung fordernde Bild geschaffen haben. Und er vermag durch ständiges Beobachten sein Auge zu schärfen, daß ihm bald hundert Züge im Landschaftscharakter auffallen, an denen ein anderer achtlos vorbeigeht. So weiß er denn auch das Walten der Naturkräfte im Gebirge zu verfolgen und die dauernde Wirksamkeit der Vorgänge einzuschätzen, die dem Menschen als furchtbare Mächte erscheinen, ihm durch Zerstörung seiner Kulturwerte zur Katastrophe werden. —

Im folgenden wollen wir versuchen,
das Wesen der Katastrophen
kennen zu lernen.

Allgemeine Erscheinungen der Abtragung im Hochgebirge.

Wollen wir für die katastrophalen Ereignisse im Hochgebirge, wie Bergstürze, Lawinen usw., tieferes Verständnis gewinnen, so müssen wir uns zunächst mit den Vorgängen vertraut machen, die von der Geologie als Abtragung der Erdoberfläche bezeichnet werden.

Es erscheint uns, die wir das Gebirge betreten, daß die gewaltigen Felsmassen, die kühnen Zacken, die Grate, die gletschergeschmückten Hörner, die sich mit den grünen Matten, den bewaldeten und besiedelten Tälern zu einem reizvollen Bilde zusammenfügen, etwas Beständiges, von jeher Gewesenes seien. Und sicher vergehen Zeiträume, in denen sich die Geschicke von Völkern erfüllen, ohne daß wir eine Änderung in den Bergformen oder gar ein Werden und Vergehen von Gebirgen wahrnehmen könnten. Der Maßstab der Zeit, den wir an die Vorgänge in der Natur legen müssen, ist ein anderer als der unseres Lebens, unserer Geschichte. — Selbst wenn wir in die Hochregion der Alpen wandern, wenn wir bewohnte Täler verlassen, wenn die Wälder und Matten durchstiegen sind, wenn die Stätten jeglichen organischen Lebens tief unter uns

liegen, — vollkommene Stille, absolute Leblosigkeit finden wir auch in den „Fels- und Eiswüsten" des Gebirges nicht. Freilich wird uns der Gedanke fremdartig erscheinen, daß das Aufschlagen des fallenden Steines, das Rieseln der Wasseradern, das Rollen der Blöcke im Bach, daß dies unscheinbare Geschehen eine Äußerung der Zerstörung ist, einer Zerstörung, die, langsam aber stetig wirkend, den „ewigen" Fels, ja das ganze Gebirge vergehen lassen wird.

Faßbarer wird der Gedanke beim Anblick der Schuttmassen, die in hohen Kegeln den Sockel der Felswände umsäumen, wenn wir die Trümmer eines Bergsturzes betrachten, wenn wir die Wälle von Blöcken sehen, welche die Ränder der Gletscher begleiten. Welche Kräfte sind hier wirksam? Wie kann denn die Zertrümmerung der Felsen geschehen?

Viele Faktoren, wie Gesteinsbeschaffenheit, Temperatur, sind wirksam; die wichtigste Rolle kommt zweifellos dem Wasser zu, das als Regen oder Schnee (Niederschläge) fällt. Verfolgen wir seinen Lauf. Erst in größerer Höhe, wo die Temperatur geringer ist als in den Niederungen, verdichten sich die ständig dem Meere, den Seen und Flüssen entsteigenden Wasserdünste zu Wolken. Und je geringer die Temperatur, desto stärker diese Verdichtung, bis das Wasser wieder als Schnee oder Regen zur Erde fällt. Der Höhe kommt also eine erhebliche Bedeutung zu, wenn wir die Niederschlagsmengen der Gebirge mit denen der Ebene vergleichen. Wie sich der Atemhauch an kalten Gegenständen in Wassertröpfchen abscheidet, so müssen auch die feuchten Winde am Hochgebirge den

Wasserdampf verlieren. Als *Schnee* fällt das Wasser und sammelt sich *in der Hochregion*, während das *Regenwasser* tieferen Landschaften in den Boden sickert und abfließt. Unsere Hochalpen empfangen aber nicht ausschließlich Schnee, sondern in den warmen Sommermonaten auch Regen. Die Regen- und Schmelzwässer der Schneeregion wollen wir zuerst in ihrer Wirksamkeit verfolgen.

Das Wasser besitzt in hohem Grade die Fähigkeit, feste Körper aufzulösen. Nahezu alle Mineralien, die unsere Gesteine zusammensetzen, sind löslich, wenn auch in sehr verschiedenem Grade. Der Kalkstein, der mächtige Bergzüge, weite Gebiete der Alpen aufbaut — erinnern wir uns nur der „nördlichen und südlichen Kalkalpen" —, ist verhältnismäßig leicht löslich: in jeder Quelle kann Kalk nachgewiesen werden. Aber auch Stoffe wie Quarz, Feldspäte, die Mineralien, die ihrem chemischen Bestand nach *Silikate* genannt werden, sind in Wasser löslich. Freilich würden wir vergeblich versuchen, ein Stück Quarz aufzulösen; die Natur hat aber einen mächtigen Helfer: die Zeit, die sie vollbringen läßt, was wir vergeblich unternehmen. Der Lösung und Zersetzung (Umwandlung unter dem Einflusse des Wassers) sind *alle Gesteine* unterworfen, weil die wenigen Bestandteile, Minerale, die sie aufbauen, der zerstörenden Kraft erliegen. So mannigfaltig die Gesteine unserer Alpen seien, sie alle zeigen Spuren lösender und zersetzender Einwirkung. Wir brauchen nur einen Block mit dem Hammer anzuschlagen, um feststellen zu können, daß ein frischer, unveränderter Kern von einer andersgefärbten, oft mürben Rinde umgeben ist. Jeder Block, jede Felswand, jedes Stück aus einer

Schutthalde ist von der Verwitterung angegriffen, teilweise zerstört worden.

Aber nicht nur diese chemische Einwirkung entfaltet ihre Tätigkeit. Zahllose Klüfte, Spalten, haarfeine Risse durchziehen den Fels. Das sind die Bahnen, auf denen das Wasser eindringt, bis tief unter die Gesteinsoberfläche zu sickern vermag und neben den geschilderten Vorgängen noch hilft, eine andere Arbeit zu verrichten: die mechanische Verwitterung. Durch sie findet keine Veränderung der Substanz, nur eine Umlagerung der Teile, ein Zerfall in größere, kleinere Blöcke, eine Auflösung in staubfeine Partikelchen statt. Gleich werden wir sehen, daß dabei die Gegensätze: heiß und kalt, trocken und naß, gefroren und geschmolzen, die Hauptrolle spielen.

Zunächst die Temperaturgegensätze: ein Gesteinsstück, das erwärmt wird, dehnt sich aus, bei raschem Abkühlen zieht es sich wieder zusammen. Die Oberfläche des Steines, die mit dem Träger der Wärme oder Kälte, der Luft, in unmittelbarer Berührung ist, folgt naturgemäß der Temperaturschwankung am unmittelbarsten; der Kern dehnt sich langsamer aus, schrumpft langsamer zusammen als seine Hülle. Tritt nun rasche Abkühlung ein, sagen wir durch das Verschwinden der Sonne hinter einer Wolke, so wird die Gesteinsoberfläche rasch kleiner, rascher als das Gesteinsinnere. Die Hülle wird zu klein, sie muß platzen. Wirklich können wir auch das Abspringen größerer oder kleinerer Felsbrocken gerade mit Einbruch der Dämmerung im Hochgebirge beobachten. Polternd stürzen die Trümmer zur Tiefe. Begreiflicher-

weise wird das Abbröckeln dann leicht erfolgen, wenn das Innere eines Felsblockes gleichsam nicht Zeit hat, sein Ausdehnen oder Schrumpfen den Volumenänderungen der Rinde anzupassen. Rasch müssen die Gegensätze von warm und kalt einander folgen. Dies ist im Hochgebirge der Fall. Drückend heiß brennt die Sonne auf Fels und Gletscher und ladet nicht ein, auf dem heißen Gestein zu rasten. Abends kommt die Abkühlung: rieselndes Wasser erstarrt. An glühend heißen Felsen, deren Berühren tagsüber fast unangenehm war, wachsen nun Eiszapfen herab. Tag und Nacht, Sommer und Winter bringen in ständigem Wechsel die starke Sonnenbestrahlung (Insolation) und die eisige Kälte. Selbst in geringerer Höhe gefriert im Sommer das Wasser allnächtlich, und wir, die wir untertags wohlige Wärme empfunden haben, werden überrascht durch das Fröstеln zur Dämmerstunde. Gerade weil im Hochgebirge Hitze und Kälte in rascher Aufeinanderfolge wechseln, überwiegt dort die mechanische Verwitterung. Sie arbeitet schnell zur Tiefe, schafft steile „Hochgebirgsformen" und läßt den Schutt in den Tälern sich häufen. Die scharfen Grate, Hörner, die pittoresken Zacken, die jähen Wände, an deren Fuß sich Halden loser Gesteinstrümmer lehnen, sind das Bild, das die mechanische Verwitterung schafft (Tafel 2). ∞ Indes sind dies noch nicht alle hierher gehörigen Phänomene. Wir haben den wesentlichsten Faktor der Gebirgsabtragung noch nicht kennen gelernt: den Spaltenfrost. Beim Gefrieren dehnt sich das Wasser aus, sein Volumen wird um etwa 9 Prozent größer. Und diese Ausdehnung ist so vehement, daß bekanntlich eine wassergefüllte Stahl-

bombe durch Abkühlen zum Platzen gebracht werden kann. Auf unzähligen Spalten und Klüften dringen tagsüber Schmelzwässer in den Fels und durchtränken ihn schließlich gänzlich. Nachts gefriert zunächst das eingesickerte Wasser nahe der Gesteinsoberfläche, und es entsteht eine Art Eispfropfen. Er hindert es, daß das Wasser in größerer Tiefe, wenn der Frost hinabdringt, auf den Klüften aufsteige, sobald das Gefrieren beginnt. Mit unwiderstehlichem Druck preßt das entstehende Eis gegen die Kluftwandungen. Das Netz von Fugen wird vergrößert, einzelne Spalten so erweitert, daß große Blöcke abgesprengt werden und beim nächsten Auftauen stürzen. Der Fels, von Rissen ganz durchzogen, wird in Trümmer gelegt. Jeder Sonnenstrahl bringt ein Tauen, jeder Schatten ein Gefrieren. Die Tiefe, bis zu der sich die Wirksamkeit des Spaltenfrostes fühlbar macht, wird stets bedeutender. Das entstehende Eis preßt auf das Wasser; dies kann nach oben nicht ausweichen, hier ist ja die Fuge zugefroren. Nach den Seiten und nach unten dringt es in feinste Spältchen und lockert selbst die Grundfesten der Berge. Es ist leicht verständlich, daß die Höhen in der Nähe der Schneegrenze, das ist einer Linie, über der täglich Frost und Wärme wechseln, über der der Winterschnee im Sommer nicht mehr schmilzt, *am stärksten dieser Art von Verwitterung ausgesetzt* sind; daß uns hier wegen der *raschen Arbeit nach der Tiefe vornehmlich schroffe Formen mit steilen Gehängen* entgegentreten. In dieser Region, die sich so scharf durch das Ausmaß der Abtragung, durch die davon abhängenden Bergformen vom Mittelgebirge unter-

scheidet, dürfen wir auch am ehesten gewaltsame Steigerungen der zerstörenden Prozesse erwarten. Diese Region ist das Hochgebirge.

Eine wesentliche Förderung zersetzender Vorgänge ist in der Tätigkeit der Organismen zu erblicken. Die Alpen gliedern sich nach ihrer Höhe in Gebiete, in denen Kulturpflanzen gebaut werden können, in denen Laubwald, Nadelwald gedeiht. Darüber folgen die Matten und Almwiesen und noch höher oben, bis zur Schneegrenze reichend, vereinzelt auch im Gebiete ewigen Schnees, finden sich die niedersten Pflanzen wie Algen und Flechten. Besonders die letztgenannten spielen für die Aufschließung des Bodens eine sehr wichtige Rolle. Selbst in die allerhärtesten Gesteine dringen durch Ritzen und Fugen feine Wurzelfäserchen und eröffnen dem eindringenden Wasser neue Bahnen. Die Organismen scheiden aber auch organische Säuren ab, die lösend auf alle Mineralien wirken. Chemisch und mechanisch beteiligen sich so die Pflanzen an der Zerstörung der Gesteine, an der Bildung der Ackerkrume (Humus), die ja aus nichts anderem besteht als aus den Verwitterungsprodukten der Gesteine, unter die sich Zersetzungsreste der Pflanzen, faulende, organische Stoffe mengen. Haben erst einmal die Flechten, die Vorposten organischen Lebens im Hochgebirge, eine Spur von Humus geschaffen, so siedeln sich bald höhere Pflanzen an. Ein Felsblock, der etwa durch einen Bergsturz in die Waldregion geraten ist, wird bald von Farnkräutern und Gräsern bevölkert, und schließlich gedeihen hier auch Sträucher und Bäume. Diese Urbarmachung unfruchtbaren Bodens ist von hervorragender Bedeutung

namentlich in wirtschaftlicher Hinsicht: das Wohl und Wehe ganzer Täler, vieler Dörfer hängt oft davon ab, ob die Berghänge bewaldet sind oder nicht. Doch davon später!

Das Ergebnis der Verwitterung ist ein recht verschiedenes. Wer einmal den Adamello, eine vergletscherte Gebirgsgruppe des westlichen Südtirols, durchstreift hat, wird mit Verwunderung der eigenartigen Beschaffenheit der schroffen, kühn geformten Hörner und Grate gedenken (s. den Vordergrund Tafel 5). Gigantisch türmen sich lose Blöcke zu der feinen Schneide des Berges und erheischen äußerste Vorsicht, weil oft eine nur leichte Berührung genügt, um einen Gesteinskoloß hinabdonnern zu lassen. Das ist das Werk der Verwitterung: entlang den Klüften im Gestein ging die Zerstörung rasch vor sich, immer mehr wurden Quadern des einst festgefügten Felsens voneinander gesondert, bis schließlich die an Ort und Stelle herausgewitterten Blöcke den „Blockgipfel" bildeten. Natürlich braucht es nicht des Menschen, um die Trümmer abwärts wandern zu lassen. Im selben Maße, wie die Auflösung fortschreitet, verlieren die zu oberst liegenden Felsbrocken das Gleichgewicht; eine Erschütterung, etwa hervorgerufen durch Wind, die Belastung durch Schnee, die Lufterschütterung durch eine abgehende Lawine genügen, die labilen Trümmer abstürzen zu lassen. Sie sammeln sich am Fuß der schroffen Wände zur Blockhalde.

Dies Herabfallen ist eine dem Bergsteiger vertraute Erscheinung; er kennt sie als Steinschlag. Einzelne, durch Verwitterung losgelöste Brocken sausen meist durch

bestimmte Rinnen, zu bestimmter Tagesstunde herab. Der erste Sonnenstrahl bringt Leben in den Berg. Abgesprengte, aber noch festgefrorene Steine treten ihre Talfahrt an. Oder Neuschnee speist bei aufgehender Sonne eine Unsumme von Rinnsalen, die durch Risse, über Wände strömen; sie bringen Bewegung unter die toten Trümmer und eröffnen ein gefährliches Feuer. Nachts ruht der Steinschlag. Mittags hört man das Geknatter weithin; es ist besonders stark. Fegt noch der Wind um die Grate, so surren und pfeifen die unsichtbaren Geschosse über Wände, schlagen mit kurzem Knall auf oder reißen größere Brocken mit sich. Der ganze Berg lebt. In der Tiefe häufen sich die Steine als Schutthalde an (Tafel 3). Am Ausgange der Rinnen reichen sie bis hoch hinauf; jede Felswand wird von ihnen umsäumt. — Der Betrag der Verwitterung ist verschieden bei verschiedenen Gesteinen. Da kommen Strukturverhältnisse, wie Schieferung, Klüftung, horizontale oder geneigte Schichtung, in Betracht, die örtlich außerordentlich rasch wechseln. Damit hängt es zusammen, daß der Steinschlag an einzelnen Stellen stärker tätig ist, daß einzelne Berge wegen des Steinschlages, wegen „brüchigen Gesteins", d. h. wegen stark vorangeschrittener Verwitterung verrufen sind. Eisrinnen, steile Schluchten, die häufig den Zugang zu einer Bergspitze vermitteln, sind ja das Ergebnis solch rascherer Verwitterung. An ihrem Ausgang künden frische, lose Trümmer die vorhandene Gefahr: mit aller Aufmerksamkeit muß man hier beim Anstieg auf jede Bewegung achten, um nicht getroffen zu werden. Meist gewährt auch der Fels an diesen Stellen

nur wenig Halt für Hand und Fuß. Ganze Salven losbrechender Steine krachen unter unserer Last zur Tiefe.

Die gestaltende Kraft der Verwitterung ist durchaus abhängig von der Gesteinsbeschaffenheit der Berge. Wie anders sehen Kalkberge aus (etwa die Dolomiten) als Schieferberge, wie etwa die Zillertaler Alpen. Beide überblicken wir von dem berühmten Aussichtspunkt im Pustertal, vom Kronplatz. Jene bilden öde Plateaus, die in bizarre Türme und Bastionen mit steilen Wandabbrüchen aufgelöst sind; diese: ein langgestreckter, scharfer Grat, über den sich in elegant geschwungener Linie die Hörner erheben, und zwar dort, wo Seitengrate vom Gebirgskamm abzweigen. Haben diese Unterschiede im Landschaftsbild auch verschiedenartige Ursachen, der Hauptgegensatz wird durch die Gesteinsbeschaffenheit erzeugt und beruht auf unterschiedlicher Steilheit der Gehänge. Wir finden im Hochgebirge alle Abstufungen von senkrecht bis leicht geneigt, sehr selten aber Überhänge. Solche Neigungen von 90 Grad und mehr können dadurch entstehen, daß ein weiches Gestein unter einem härteren fortgespült wird (Abb. 1). Die eigene Last wird den überhängenden Fels abbrechen lassen; große Ausdehnung können also Überhänge niemals erreichen. Stets wird

Abb. 1. Überhängende harte Gesteine über ausgewaschenen weichen Schichten.

ein Böschungswinkel wiederhergestellt, der dem Gestein an dieser Stelle wegen seiner bestimmten Härte, Zusammensetzung, Zerklüftung und Lagerung zukommt. Bilden sich also Gehängeneigungen, die steiler sind als die Gesteinsbeschaffenheit erlaubt, so wird immer wieder ein Ausgleich geschaffen, der oft plötzlich, mit Heftigkeit ausgelöst wird. Ungeheuer groß ist die Bedeutung dieses Satzes für die Ausgestaltung von Berg und Tal!

Das Regenwasser sickert durch poröses Gestein oder an Klüften und Spalten ein, bis die Undurchlässigkeit, z. B. in Form einer Tonschicht, das weitere Eindringen hindert. Hier sammelt sich das Wasser und erreicht auf verschlungenen Bahnen als Quelle wieder die Erdoberfläche, wo das undurchlässige Gestein zu Tage ausgeht. An der Quelle nimmt das Rinnsal seinen Ursprung. Sein Schicksal wollen wir verfolgen. Die Tätigkeit rinnenden Wassers (Erosion) wollen wir studieren, um zu erkennen, daß die langsam, aber stetig wirkenden Kräfte das Gebirge in weit höherem Maße gestalten als katastrophale Ereignisse, die freilich auf den Menschen einen tiefen, gewaltsamen Eindruck machen.

Nur ein kleiner Teil der Niederschläge dringt in den Boden ein, das meiste fließt oberflächlich ab, ein kleiner Rest verdunstet wieder. Das Regenwasser folgt der vorhandenen Neigung der Gehänge, die einzelnen Tropfen vereinigen sich zu kleinen Wasseräderchen. Unregelmäßigkeiten im Boden lassen fernerhin die Äderchen zu Rinnsalen sich sammeln. Die ganze Oberfläche eines Gehänges wird so bespült, kleinere oder größere Gesteinspartikel

werden fortgeschafft. Wie groß die Menge des Fortgeschafften ist, sehen wir an der Trübung der Regenrinnsale, sehen wir bei genauem Beobachten am Rollen kleiner Gesteinskörner am Grunde des strömenden Wassers. Durch das Wegschaffen der feinen Verwitterungsprodukte an der Gesteinsoberfläche werden stets neue, frische Stellen bloßgelegt, die von der Verwitterung angenagt werden. Wird grober Grus, grober Verwitterungsschutt derart bespült, so können einzelne Steine den Halt verlieren, sei es direkt durch das Aufschlagen des Regens, sei es, daß ein Körnchen fortgerissen wurde, das dem Stein als Stütze diente. Der Stein gerät ins Rollen, mit ihm aber auch ein Teil seiner Umgebung, denn auf jedem einzelnen ruht in einer Schutthalde eine ganze Reihe höher liegender Trümmer. Deutlich wird uns der Vorgang beim Überqueren solcher Halde. Bei jedem Schritt bringen wir Steine aus ihrer Lage; sogleich beginnen ganze Geröllströme zu gleiten. Das Steigen wird auf losem Grus sehr mühsam. So sehen wir die große Bedeutung des abfließenden Regenwassers: die Verwitterung, die stets flächenhaft arbeitet, *stets die ganze Erdoberfläche* beeinflußt, wird mächtig unterstützt durch das Entstehen immer neuer Angriffspunkte. Grobes und feines Material wird an den Berghängen durch die kleinen Rinnsale zu Tal geführt, *stets werden Bäche und Flüsse eine Zufuhr an Gehängeschutt von den Seiten her erhalten.*

Das Zusammenströmen des Wassers prägt sich immer schärfer aus, je weiter wir die Wasserfäden abwärts verfolgen. Benachbarte Bodenfurchen nehmen sie auf; in ihnen

ſchleppen die anſchwellenden Gewäſſer mehr und mehr feſte Beſtandteile mit ſich. Waſſergräben vereinigen ſich, Bäche entſtehen, bis im Grunde des Haupttales ein Fluß die Gewäſſer des geſamten Gebietes ſammelt (Tafel 4). ∞ Das Ausgraben von Furchen und Tälern iſt kein einfacher Prozeß: reines Waſſer würde durch ſeinen Anprall kaum Stücke von einem Felsblock wegbrechen können. Es kann nur in jahrelanger Arbeit etwas auflöſen, Unebenheiten ſchaffen, die ſo groß werden, daß ſchließlich ein Körnchen aus dem Geſtein gleichſam herausgelöſt wird. An unzähligen Punkten greift das Waſſer in dieſer Weiſe an, an unzähligen Punkten werden auch loſe Steine erzeugt, die ſich mit jenen Trümmern vermengen, die, durch Abwitterung entſtanden, allmählich in eine Waſſerrinne hinabgelangt ſind. Dieſe feſten Beſtandteile ſind die Werkzeuge, mit denen die ſich ſammelnden Gewäſſer ihre erſtaunlich große Grabarbeit verrichten. Die Steine werden nicht nur gegeneinandergerieben und durch Abwärtsrollen gerundet: wie *Geſchoſſe* werden ſie durch die Stoßkraft des Waſſers gegen grobe Geſteinsbrocken, gegen die Felſen des Bachbettes geſchleudert. Immer neue Stücke werden losgeriſſen, immer größere Blöcke können als Felsbrecher benützt werden, wenn die Waſſermaſſe wächſt, immer *erfolgreicher geſchieht das Eintiefen des Flußbettes*. Mit Erſtaunen erblicken wir in unſcheinbarem Bächlein nach heftigem Gewitterregen grobe Felsklötze, die mit Poltern abwärts rollen, in heftigem Anprall an einem Vorſprung zerſchellen oder eine Menge kleiner Trümmer mit ſich fortreißen. Gewiß ſind für die Beobachtung heftige Regengüſſe günſtig; ſie ſtellen aber nur Epiſoden

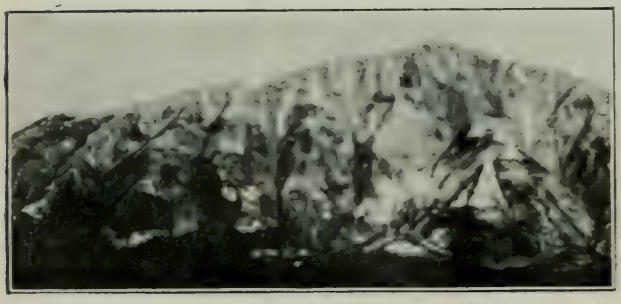
dar, so daß wir fast daran zweifeln könnten, daß die tiefen Täler, die engen Schluchten Erzeugnisse der „Erosion" seien. Eines müssen wir aber im Auge behalten: was ein großer Block leistet, wird auch durch viele kleine Steine vollbracht, nur braucht es sehr viel mehr Zeit. Und stets müssen wir uns erinnern, daß unser Zeitmaß für diese Vorgänge zu eng, zu klein ist. Ständig fließendes Wasser, ständiges Anprallen kleiner Steine wird nachhaltigere Wirkungen erzielen als ein mächtiger Gewitterguß, als ein Felsblock, der während dieses Gusses um einige Meter talab rollt, freilich für diese kleine Strecke, ich möchte sagen, die Bedeutung einer Katastrophe erlangt. Nach alledem wird es selbstverständlich, daß Täler mit großen Flüssen tief eingeschnitten sind. Sie sammeln die Gewässer der umliegenden Gebirge; von ihnen aus steigen die Nebentäler an, verzweigen sich nach oben hin, so daß wir von einem Flußsystem den Eindruck eines Baumes gewinnen, dessen Stamm durch den Hauptfluß, dessen Äste und Zweige durch das Gewirr von Nebenflüssen, Bächen, Rinnsalen dargestellt werden. Der Wipfel dieses Baumes fände sich im Quellgebiet des Hauptflusses, wo dieser, nur wenig eingeschnitten, als dünne Wasserader seinen Anfang nimmt. Das Quellgebiet werden wir also hoch oben im Gebirge, im Herz der Hochregion, vielleicht im Gebiete der Gletscher suchen. ☙ Der Betrag der Erosion, die zum Unterschied von der Verwitterung, der Abspülung nicht flächenhaft, sondern entlang bestimmten Linien, den Tälern, wirkt, hängt, wie wir sahen, vor allen Dingen von der Menge des Wassers ab. Ferner wird auch die Widerstands-

Tafel 2. Phot. W. Penck.

Trafoiergletscher (Ortlergruppe). Gletscherzungen mit starker Zerklüftung, den jähen Hochgebirgsböschungen entsprechend. Man beachte die steilen, scharfen Formen der Berge, die Schutthalden am Fuß der Felswände; mechanische Verwitterung.

Tafel 3. Phot. L. Haus.

Verwitterungsformen im Kalk (Vajolettürme in den Dolomiten). Steile Wände, von Steinschlagrinnen durchzogen, von Schutthalden umsäumt.



Tafel 4.
Phot. W. Penck.

Talbildung: regelmäßige Sammelfurchen, nach oben verzweigt.

fähigkeit der Gesteine einen entscheidenden Einfluß ausüben. Harte Gesteine werden schwerer zerstört als weiche; vergeblich prallen an den Granitfels unzählige Gerölle, ohne eine Bresche schlagen zu können, während in weichen Schiefern dieselben Gerölle schon eine tiefe Furche eingekerbt haben. Schwer werden wir mit dem Hammer ein Stück Granit losschlagen, wenige Hiebe genügen, den Schiefer zersplittern zu lassen. Diese Erfahrung können wir unmittelbar auf die Tätigkeit des fließenden Wassers übertragen. Gleichwohl wird auch der Granit der Zeit zum Opfer fallen, werden auch in ihn Verwitterung und Abtragung tiefe Spuren graben, werden auch im Granit Täler entstehen, wird sich der Gesteinskörper in Einzelformen, in Berge auflösen. In gleicher Zeit wird jedoch das eine Gestein stärker zerstört als das andere. Der Unterschied ist dann aufs schärfste in der Form ausgeprägt: harte Gesteine bilden jähe, bizarre Formen; sanfter, runder sind die Höhen der weichen Gesteine. Sie zeigen Merkmale intensiverer Bearbeitung.

Ist ein Gestein porös, wie etwa der Kalk, so sickert das meiste Wasser ein, nur wenig fließt oberflächlich ab. Die Wassermengen der Bäche und Flüsse sind geringer und damit die Erosionskraft vermindert. Es ist für das Ergebnis der Abtragung gleichgültig, ob ein hartes Gestein der Erosion widersteht oder ob ein wasserdurchlässiges Gestein die Entwicklung der Erosion hindert. Beide Gesteinstypen zeigen jedenfalls geringere Einwirkung fließenden Wassers als weiche, wasserundurchlässige, und es werden darum auch einander verwandte Bergformen und Täler entstehen. Mit einem

Wort: beide Gesteinsarten, *hart und wasserdurchlässig*, sind widerstandsfähig gegenüber der Erosion. Ich erinnere an Tafel 3, die einen Ausschnitt aus der Dolomitenwelt darstellt: weiche, rundliche Formen fehlen, jäh steigen die Wände an, in ihrer Steilheit noch unterstützt durch eine senkrechte Klüftung. Letztere ist in vielen Gesteinen vorhanden. Wie weit ihr Einfluß auf die Abtragung reicht, können wir unmittelbar aus der Erörterung über Verwitterungsvorgänge entnehmen (S. 6—7). Alles Wasser sammelt sich schließlich in Rinnen; die Talbildung beginnt. Sie ist festen Gesetzen unterworfen. Wir wollen diese jedoch nicht eingehender studieren; nur allgemeinere Erscheinungen sollen hier betrachtet werden, damit wir auch die Täler als Formen der Abtragung verstehen lernen. Sie sind nichts anderes!

Die Erosion wirkt zur Tiefe: das Wasser, der mitgeführte Schutt folgen dem Gesetz der Schwere und drücken deshalb in erster Linie senkrecht nach unten. Eine Fortbewegung in dieser Richtung ist unmöglich, die Massen weichen, dem Gefälle folgend, aus, bearbeiten dabei das Bach- oder Flußbett und *legen es tiefer*. — Bei den unzähligen Windungen einer Wasserader, die durch Unebenheiten des Bodens bei der ersten Anlage des Baches entstanden waren, prallen die Wasserteilchen einmal gegen das eine Ufer, dann wieder gegen das andere. Der Stoßkraft des Wassers folgen auch die mitgeführten festen Bestandteile. Diese entfalten nun an der *Prallstelle* eine lebhafte Tätigkeit: Splitter des Felsens werden abgeschliffen, ganze Stücke weggeschlagen, der Fels wird unterspült, er beginnt überzuhängen. Fortgesetzt ist der Bach

tätig, bis schließlich der Fels niederbricht und eine Böschung wiederhergestellt wird, die dem Gesteine zufolge seiner Beschaffenheit zukommt (s. S. 13). Bei jeder Windung des Gewässers wiederholt sich das Spiel. Alles summiert, gibt ein Bild von der Seitenerosion des Flusses. Im selben Maße also, wie das Wasser unterspült, brechen die Talhänge nach, wird auch das Tal breiter. Hätten wir den Idealfall, daß ein Gebirge überall aus den gleichen Gesteinen, in derselben Lagerungsform bestünde, so müßten die tiefsten Täler auch die breitesten sein. Aus dem Umstand, daß die Natur das Gesetz scheinbar nicht befolgt, können wir umgekehrt schließen, daß die Gesteinsbeschaffenheit wechselt. Gehen wir z. B. im Inntal aufwärts, so betreten wir bei Landeck eine Enge, die der Fluß brausend durchbricht. Ihr folgt talauf die freundliche Weitung bei Pfunds, die nach oben hin durch den Finstermünzpaß abgeschlossen wird. So eng ist dieser Durchbruch des Inn, daß die Straße in den Fels gesprengt werden mußte, daß in diesem schwer passierbaren Tor eine Scheide zwischen zwei Landschaften, dem Inntal und dem Engadin, besteht. Dies eine Beispiel wird vollauf genügen, das Gesagte zu erhärten.

Abb. 2. Abbruch von Uferwänden. Die unterhöhlende Tätigkeit eines Flusses schafft „übersteile" Böschungen; rechts oben sieht man das Losbrechen von Schollen entlang von Spalten.

Verfolgen wir jetzt einen Fluß von seiner Mündung etwa in einen See bis zu seiner Quelle! Wir beobachten Schotter-

bänke, große Massen von Geröll, die zum Teil im Fluß, zum Teil an seinen Ufern sich dehnen. Achtlos geht man meist an dieser so gewöhnlichen Erscheinung vorbei. Wir wissen ja, daß das Material durch den Fluß herbeigeschafft wurde, fragen uns aber nicht nach dem Wie und Woher. Je mehr man sich der Quelle nähert, desto steiler wird der Weg, desto seltener werden auch diese Flußablagerungen. Unten rauschte das Wasser ruhig, gemäßigt dahin, nahe der Quelle sprudelt der Bach munter talab, er überstürzt sich, er tost in Wasserfällen zur Tiefe. Das stärkere Gefälle, d. h. die stärkere Neigung des Bachbettes, kommt hier aufs deutlichste zum Ausdruck; wie über eine Stiege geht es talab. Und hier *fehlen* die *Flußablagerungen*, hier sind wir im Gebiet lebhaftester Erosion. Steil und eng sind die Schluchten; Strudellöcher im Fels geben Zeugnis von vehementer Bohrarbeit des Wassers. Dies stürzt herab, schleudert am Fuß des Wasserfalls die Gesteinstrümmer gegen den Untergrund, wirbelt sie im Kreise, und diese kolken wie Riesenbohrer das Bachbett aus. Treffend ist solch Tal mit starkem Gefälle, mit steilen Gehängen dem Jüngslingsalter verglichen und geradezu „*jugendlich*" genannt worden. Wo das Wasser gesetzt dahinfließt, wo das Gefälle gering, wo wir Schotter finden, ist der Fluß ins Mannesalter getreten. Dort können wir ihn „*reif*" nennen. Beide Stadien kennzeichnen sich durch den Unterschied im Gefälle und durch das Vorhandensein von Ablagerung oder Erosion. *Je größer das Gefälle, desto größer die Erosion, je geringer das Gefälle, desto größer die Ablagerung* (*Akkumulation*). Wir werden uns

also nicht wundern, im Unterlauf eines Flusses oder an Stellen, wo das Gefälle sehr gering ist, auch starke Ablagerung fester Bestandteile zu finden.

Der Zusatz „wo das Gefälle sehr gering ist" bedarf noch einer Erläuterung. Wir sahen, daß das Flußgefälle von der Quelle bis zur Mündung stets abnimmt, daß damit auch die Erosion ab-, die Akkumulation dagegen zunehmen muß. Der obige Zusatz sollte sich jedoch auf Stellen innerhalb des Erosionsgebietes beziehen, wo durch lokale, örtlich begrenzte Verhältnisse die Erosionskraft vermindert ist. Die Menge des Verwitterungsschuttes, der an jeder Stelle des Tales gegen den Fluß zu wandert, und die Menge der vom Fluß herbeigeschafften festen Bestandteile ist demnach hier größer, als die Transportkraft des Wassers bewältigen kann. Diese Transportkraft muß also etwas Beschränktes sein. Wir können einen Fluß vergleichen mit einem Lastträger, dem auf seinem Wege plötzlich ein „Mehr" aufgebürdet wird. Auch er kann nicht über seine Kräfte hinaus schleppen; er wird zusammenbrechen oder einen Teil der Last zurücklassen. Der Fluß wird aus seiner Bahn gelenkt oder zum See gestaut werden, oder aber er lagert einen Teil der Schotter ab.

Für die Transportkraft des Wassers finden wir einen einfachen physikalischen Ausdruck; sie ist gleich der lebendigen Kraft des Baches oder Flusses. Je größer die Wassermasse[1],

[1] Wassermasse = m, Geschwindigkeit = v, lebendige Kraft mv^2; dies ist der Betrag der Transportkraft des Wassers. v ist dabei abhängig vom Gefälle und dem Querschnitt des Flusses, weil es darauf ankommt, welche Wassermassen einen bestimmten Querschnitt in der Zeiteinheit passieren.

desto mehr kann an Geröllen mitgeführt werden. Ebenso gilt der Satz, daß bei wachsender Geschwindigkeit mehr festes Material, und zwar auch größere Brocken, fortgeschafft werden können. Ein langsam strömender Fluß führt ungeheure Mengen *feiner* Gesteinspartikel mit sich, aber keine Gerölle mehr. Größere Geschwindigkeit ist notwendig, um diese vom Platz zu bewegen.[1] Nimmt also die Wassermenge oder das Gefälle ab, so schwindet in gleichem Maße die Transportkraft, und der Fluß akkumuliert. Es kann auch das Gefälle plötzlich geringer werden. Die hundert Möglichkeiten, dies herbeizuführen, die auf Gesteinsbeschaffenheit, Versperrung durch fremde Massen usf. zurückgehen, sollen vorläufig nicht erörtert werden. Eine sehr wichtige Erscheinung jedoch, die wir an der Mündung jedes Tales antreffen, die so universell in den Alpen verbreitet ist, daß ein Tal ohne sie uns fremdartig dünken würde, ist der Betrachtung wohl wert. Es sind die *Schuttkegel*.

Das Haupttal eines Flußsystemes führt gegenüber den Nebentälern mehr Wasser; es ist gleichsam das Sammelbecken für die Gewässer der Nebentäler. Da diese in den Hauptfluß münden, muß jeder Punkt im Nebental höher liegen als die Mündung, sonst könnte das Wasser nicht mehr fließen! Auch kann ein Nebenfluß mit seiner Tiefenerosion *niemals unter* den Hauptfluß gelangen: letzterer ist ja größer und besitzt somit mehr die Fähigkeit, zur Tiefe zu arbeiten, als sein Tributär. Man drückt das aus, indem man sagt, der Hauptfluß sei die *Erosions-*

[1] Man denke nur an die Riesenblöcke im *steilen* Gebirgsbach!

basis der Nebenflüsse. Das Haupttal ist stets das ausgearbeitetere, das ausgeglichenere mit dem geringeren Gefälle. Deshalb spricht man ja überhaupt von einem „Haupttal". Kommt nun ein Nebenfluß in das Haupttal, so verliert er plötzlich an Gefälle, die Transportkraft wird so gering, daß eine Ablagerung am Ausgang des Nebentales entstehen muß. Fächerförmig breitet sich das Schottermaterial aus, und es formt sich ein flacherer oder steilerer Kegel, dessen Spitze in das Nebental ragt, dessen Saum sich an den Hauptfluß schmiegt. Ständiges Ablagern von seiten des Baches erhöht den Kegel; er wächst in den Hauptfluß hinein. Hat nun dieser nicht die Kraft, die große Materialzufuhr zu bewältigen, so wird er nach der gegenüberliegenden Talwand gedrängt; und nur langsam schneidet er Stück für Stück vom Schuttkegel ab, sich die Bahn zwischen steilen Schotterwänden offen haltend. Bei größeren Nebenflüssen prägt sich der Schuttkegel nicht so scharf aus; er ist flach. In den Alpen jedoch sehen wir enge Runsen, jähe Schluchten in breite Täler münden. Dort heben sich die steileren Schuttkegel

Abb. 3. Schuttkegel und Schutthalden in einem Tal. a = Flußablagerungen der Talsohle. Die Schuttkegel am Ausgang der Nebentäler drängen den Fluß zur Seite. Dieser schneidet an den Konverseiten der Krümmungen in die losen Schottermassen ein. (Nach Davis.)

deutlich vom flachen Talboden heraus, und es entstehen Bilder, wie durch die schematische Abb. 3 angedeutet ist. Der Fluß pendelt zwischen den „Dejektionskegeln" hin und her, von ihnen jeweils nach der anderen Talseite gedrängt. Er schneidet in diese oder in den Schuttkegel ein, doch nur eben so viel, als notwendig ist, seinen Lauf offen zu halten. Später werde ich den Leser ins Vintschgau, den oberen Teil des Etschtales, führen, wo wir die Schuttkegel in wundervoller Entwicklung studieren können. Sie haben dort hohe wirtschaftliche Bedeutung einmal als Produkte der „Murgänge" und dann wegen ihrer Fruchtbarkeit.

Damit verlassen wir dies Gebiet und steigen hinauf in die Hochregion, wo fließendes Wasser fehlt, wo Schnee und Eis die Einsenkungen zwischen den höchsten Zacken des Gebirges erfüllen.

In den Alpen kann über einer Höhe von durchschnittlich 2700 m der mächtige Winterschnee im Sommer nicht mehr weggeschmolzen werden. Die Erhebung des Landes über den Meeresspiegel bringt ja eine Abnahme der Temperatur mit sich, die Winter sind kälter, die Niederschläge fallen den größten Teil des Jahres hindurch als Schnee. Dementsprechend sind auch die Sommer kürzer, kälter als in den Tälern, und die Wärme des Juli und August ist bei weitem nicht imstande, die Schneeansammlungen zum Schmelzen zu bringen. Wo diese klimatischen Verhältnisse herrschen, sind wir über der Schneegrenze, in der Region ewigen Schnees.

Die Schneemassen müßten stets mächtiger werden, wenn in jedem Winter ein Überschuß fällt, den der Sommer nicht mehr bewältigen kann. Bis ins Unendliche wird

dies natürlich nicht stattfinden. Auch der Schnee folgt, wie das Wasser, den Neigungsverhältnissen seiner Unterlage, er fließt zu Tal. In einem ganz speziellen Phänomen, das später eingehende Erörterung finden wird, können wir diese selbständige Abwärtsbewegung direkt beobachten: in den Lawinen.

Indes kommt den Gletschern als Ausgestaltern des Gebirges eine wesentlich größere Bedeutung zu. Wieder wollen wir sie, die Werkzeuge ununterbrochener Tätigkeit, zuerst in ihrem Wirken verfolgen, um später die plötzlich eintretenden, auf engen Raum beschränkten Vorgänge verstehen zu lernen.

Treffend werden die Gletscher auch Eisströme (s. Tafel 5) genannt; in der Tat besteht zwischen ihnen und den Flüssen große Ähnlichkeit. — Zunächst müssen wir uns aber fragen, wie aus gefallenem Schnee Eis entsteht. Die Beantwortung der Frage erheischt die Kenntnis einiger physikalischer Gesetze. Über der Schneegrenze häuft sich in weiten Mulden der Schnee, ein lockeres Gefüge feiner Eiskriställchen. Die weiße Decke spannt sich von Gipfel zu Gipfel, zieht auch über flache Bodenschwellen und stellt ein zusammenhängendes Sammelbecken dar, das dem Gletscher Nahrung zuführt. Wir sprechen vom Firnfeld. Die Sonne schmilzt die Oberfläche der Schneedecke, das einsickernde Wasser gefriert wieder, und es bildet sich ein festeres Aggregat von kleinen Eiskörnern. Tag für Tag wiederholt sich der Prozeß, die durchtränkten Schneemassen sinken mehr und mehr zusammen, so zwar, daß durch den Druck der auflastenden Schichten die tiefer liegenden Schneepartien zu einem kompakten Eiskörper (Firn) verdichtet

werden. Wenn nun jährlich etwa 7—8 m Schnee in den Alpen fallen, diese 8 m auf 1 m Firn zusammensintern, so können wir uns eine Vorstellung machen von dem Druck, den eine 300—400 m dicke Firndecke auf die tieferen Lagen ihrer eigenen Masse ausübt. Vergegenwärtigen wir uns noch, daß die Gesteinsunterlage einen größeren oder geringeren Neigungswinkel besitzt, so kann es uns nicht mehr befremden, die belasteten Eismassen aus dem Firnbecken herausgepreßt zu sehen.

Im Gletscher, der also der Abfluß des Firnbeckens ist, macht das Eis noch verschiedene Umänderungen durch, bis es nahe seinem Ende das bläulich schimmernde, durchsichtige Aussehen erlangt, das uns in der Tiefe der Gletscherspalten magisch entgegenleuchtet. Alle Luftblasen sind hier herausgepreßt, die gegen das Firnfeld zu das an und für sich wasserklare Eis trüben. Indes ist auch die Gletscherzunge nicht völlig einheitlich gebaut: Schmutzbänder, Zonen schwammiger Beschaffenheit wechseln mit durchsichtigem Eis. Wenn im Winter Schnee fällt, dieser im Sommer zu Firn verwandelt wird, und wenn der Wechsel jahraus, jahrein vor sich geht, so ist leicht einzusehen, daß auch im Firn Spuren der Schnee- und Schmelzperiode vorhanden sein müssen. Wirklich ist dies auch der Fall; der Firn ist geschichtet. Die Schichtung geht nun im Gletscher nicht verloren, aber die ursprünglich horizontalen Lagen sind gequetscht, ausgewalzt, gestaucht und erscheinen uns als Bänderung.

Können wir schon aus dem Vorhandensein der Bänderung auf eine Bewegung der Gletscher schließen, so wird diese noch deutlicher durch folgende Überlegung: die

Gletscher ragen bis unter die Schneegrenze, ja, einzelne finden ihr Ende erst im Gebiete der Wälder. Unter der Schneegrenze schmilzt aber alles Eis. Wäre kein Nachrücken von oben her da, so müßten die Gletscher bald über die Schneegrenze zurückweichen. Die sicher vorhandene Speisung der Eisströme aus dem Firnfeld bedingt also Bewegung, der Schwere folgend, nach abwärts! — Diese Bewegung qualitativ und quantitativ festzustellen, ist eine der Aufgaben der Gletscherforschung, und sie wurde denn auch mit großer Genauigkeit an verschiedenen Stellen des Gletschers, an vielen Gletschern gemessen. Es ergibt sich, was unmittelbar einzusehen ist, wenn wir an die Flußbewegung denken, daß das „Fließen" ununterbrochen stattfindet, dort rascher, wo das Gefälle steiler wird, dort langsamer, wo sich das Eis auf flacherer Unterlage seitlich ausbreitet. Wenn man dennoch hört, die Gletscher seien im Rückzug begriffen, so soll das nur heißen, daß die Gletscherstirne durch verstärktes Abschmelzen talauf rückt. Eine Eiszufuhr von oben her, ein Abwärtsfließen ist selbstverständlich auch dann noch vorhanden! Ich sprach früher von der gefalteten Bänderung. Würde sich ein Gletscher als geschlossene Masse, wie ein einziger Block abwärts bewegen, so könnte die Schichtung durch einen bloßen Druck von oben nach unten nicht so stark deformiert werden. Es findet, wie beim Fließen, auch bei der Bewegung des Eises eine Umlagerung der einzelnen Teilchen statt, eine Verschiebung, die es mit sich bringt, daß eine ursprünglich regelmäßige Struktur, wie die Schichtung, in wirre Falten gelegt wird und wie geknetet aussieht. Das Eis ist plastisch, wenn es unter hohem Druck steht. Kann

man es doch aus starkem Gefäß durch eine kleine Öffnung hinauspressen! Wegen der Plastizität, hervorgerufen durch den Druck der eigenen Last, wird also an der Unterseite des Gletschers keine Zerreißung stattfinden; wie ein Fluß schmiegt sich das Eis an die Talwandungen und folgt aus den dargelegten Gründen allen Windungen, paßt sich Talweiten und -engen an. „Das Eis fließt"; mit Recht gebrauchen wir diesen Ausdruck!

Es kann nicht wundernehmen, daß an der Oberfläche eines Gletschers nur wenig von der geschilderten Plastizität zu sehen ist. Dort fehlt ja der Druck überlastender Massen! Selten ist daher der Gletscher eben, meist zerklüftet, oft in ein wildes Chaos von Pfeilern und Türmen aufgelöst, zwischen denen in weitklaffenden Spalten lichtes Blau schimmert. Nimmt das Gefälle zu, so bewegt sich die Eisoberfläche rascher gegenüber den tieferen Partien; quer verlaufende Spalten reißen auf. Bei stärkeren Neigungen löst sich der Zusammenhang völlig; ein prächtiges Bild von wilder Schönheit wird geschaffen: ein Gletscherbruch, in dem „Séracs", Eistürme, bedrohlich aufragen (Tafel 1). Zur Zeit größter Wärmebestrahlung, um Mittag, ist es ein recht gefährliches Unternehmen, die Séracs zu durchsteigen. Ständig hört man das Donnern umfallender Eispfeiler, das Krachen frisch aufreißender Spalten. Der Gletscherbruch gleicht der Stromschnelle.

Noch steiler wird das Bett! Wasser würde als Kaskade über die Stufe rauschen. Das Eis bricht jäh ab, es stürzt in einzelnen Schollen zur Tiefe. Die Brocken zerschellen und häufen sich am Fuß der Wand zu wildem Trümmerwerk. Unter dem Gletschersturz jedoch ver-

schmelzen die Eisstücke wieder zu geschlossener Masse. Ein neuer Gletscher bildet sich, der langsam weiterfließt. Im Val di Genova (Adamellogruppe) reichen die Gletscher über Wandstufen herab, die von den Seitentälchen zur Talsohle leiten (Tafel 5 und 27). Sie und die Wasserfälle, die in dünnen Silberfäden niederrieseln, machen die ganze Schönheit des berühmten Tales aus.

Naheliegend ist nun die Frage, ob denn Gletscher, die der Erscheinung nach den Flüssen so ähnlich sind, auch wie diese erodieren, wie diese Täler ausfurchen und das zerstörte Material talaus schleppen. Betrachten wir den Madatschferner (Tafel 6) in der Ortlergruppe, so sehen wir an seinem Rande Wälle losen Schuttes; es sind Moränen. Folgen wir dem Gletscherrand entlang aufwärts, so lernen wir bald eine Quelle der losen Trümmer kennen. Das Eis fließt zwischen steilen Felswänden, die der Abwitterung, dem Spaltenfrost unterworfen sind. Stets fallen Steine auf den Gletscher, die von ihm talab getragen werden und dort zur Ablagerung kommen, wo das Eis abschmilzt. Große Mengen von Felstrümmern werden aufgehäuft, werden im Winter vom vorrückenden Gletscher zusammengeschoben. Zur Zeit der Schmelze, im Sommer, weicht die Gletscherstirne etwas zurück, holt gleichsam zu neuem Stoß aus, der erfolgt, sobald starke Schneefälle das Eis wieder vorrücken lassen. Ganze Mauern von losem Schuttwerk umsäumen dann den Gletscher: die Seiten- und Stirnmoränen. In einzelnen Fällen sehen wir direkt die ungeheure Transportkraft der „Ferner". Sie verschwinden gänzlich im Schutt, der sie nicht nur überlagert, sondern das Eis

durch und durch erfüllt. Wir würden aus der Ferne kaum in dem Steinhaufen vor uns die Zunge des Morteratschgletschers vermuten! Angesichts der kolossalen Seitenmoränen weiter oberhalb wird es allerdings begreiflich, daß das Gletscherende so schmutzig aussieht. Die Moränen beladen den Eisrand, erfüllen die Spalten, lagern durch Zusammenfluß zweier Teilgletscher als Mittelmoräne selbst auf dem Rücken des Ferners und werden bei der Abwärtsbewegung in den Eisteig förmlich eingeknetet.

Viele Trümmer gelangen so auf den Untergrund des Gletschers und mischen sich mit denen der Grundmoräne. Sie kommt an der Stirne des Eisstromes stets hervor und liefert Material für den Bau der Stirnmoräne. Woher kommt der lose Schutt? Die Steine sind in das Eis eingebacken und werden mit ihm wie ein Hobel über den felsigen Boden hinbewegt, wodurch ein Glätten, ein Polieren und Schrammen des Untergrundes („Gletscherschliff"), eine Abnutzung und Rundung der Moränentrümmer („gekritzte Geschiebe") bewirkt wird. Das feine Gesteinspulver wird fortgeschwemmt, neue Trümmer werden losgerissen.

Dies ist nicht der einzige Faktor der Gletschererosion: der Spaltenfrost kommt hinzu. Unter dem Gletscher ist stets Wasser vorhanden; auch im Winter fließen die Gletscherbäche! Der Schmelzpunkt des Eises wird nämlich durch Druck erniedrigt, d. h. wir können Eis von weniger als 0 Grad Celsius durch bloßen Druck zum Schmelzen bringen. Durch einen kleinen Versuch wird vielleicht das Gesetz der mechanischen Wärmetheorie deutlicher: wir

können einen stumpfen Gegenstand durch gelinden, lang wirkenden Druck in eine Eisscholle pressen. Dabei wird der Körper einfrieren, denn das Wasser, das vor dem eindringenden Ende unter Druck gebildet wurde, weicht aus und gefriert sofort an den Seiten, wo dieser Druck nachläßt. Ähnliche Verhältnisse schafft die Natur an Gletschern. Unter ihrer enormen Last muß stets flüssiges Wasser vorhanden sein, das in Haarspältchen des Gesteins sickert, in größere Klüfte versinkt oder unterirdisch, d. h. unter dem Eise, abfließt. Sowie aber in der Gesteinsspalte der Druck nachläßt, erstarren die Wasserteilchen und die Phänomene des Spaltenfrostes treten in Wirksamkeit. Mit jeder Unebenheit, durch die das Eis ein wenig von seiner Unterlage entfernt wird, durch jeden vorragenden Felsbuckel, durch jede Vertiefung wird die Tätigkeit des Spaltenfrostes neu belebt, denn durch jedes Lüften des Eises von seiner Unterlage entsteht Druckverminderung und Gefrieren.

Weilen wir einen Moment bei dem Gedanken, daß diese Vorgänge ständig wirken, daß der Spaltenfrost im Bette der Gletscherströme vielleicht noch intensiver arbeitet als an den schroffen Spitzen des Hochgebirges, so werden wir die enorme Wichtigkeit der Gletscher als gestaltende Faktoren im Gebirge annähernd richtig würdigen können. Die Firngebiete besitzen einen Formenschatz, der den Mittelgebirgen vollständig fehlt; die Täler, die durch „Glazialerosion" (Gletschererosion) entstanden sind, werden sich unterscheiden von den Tälern, die ausschließlich durch Flüsse herausgearbeitet wurden. In jenen erfüllte der Gletscher das ganze Tal, bearbeitete Talhänge und den

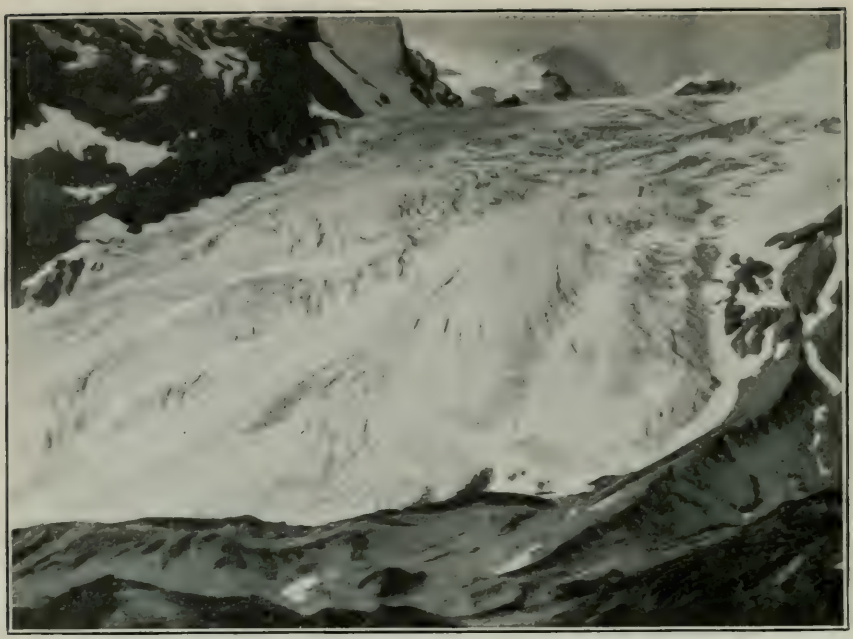
ganzen Talboden unmittelbar und zu gleicher Zeit (U-täler); in diesen zieht sich als schmale Linie im Talboden der Fluß dahin, die Gehänge nur mittelbar formend (V-täler). So werden wir an den spezifischen Eigenschaften auch ehemalige Gletschertäler erkennen, wenn keine Spuren des einstigen Eisstromes mehr vorhanden sind, wenn sich nur noch ihre Moränen als mächtige Ablagerungen vorfinden. An Einzelheiten, die nur auf Abtragung durch Gletscher zurückgeführt werden können, werden wir mit unumstößlicher Sicherheit das Vorhandensein, die Ausdehnung älterer Vereisungen wiedererkennen.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, den glazialen Formenschatz hier zu analysieren. Das Gesagte wird schon genügen, uns eine Vorstellung davon zu geben, daß ehemals vergletscherte Gebiete die ganze Eigenart der Landschaft dem Eise verdanken.

Das Studium der Talformen, ein Vergleich mit den heute noch gletschererfüllten Tälern der Hochregion, das Verfolgen riesiger Moränenzüge, weitausgebreiteter Ablagerungen von Grundmoräne in Gebieten, die heute zu den fruchtbarsten, am dichtesten besiedelten der Alpen gehören, haben unzweideutig klargelegt, daß in der geologischen Vergangenheit die Vergletscherung auch der Alpen weit größer war als heute. Geologisch gesprochen, liegt die „diluviale Eiszeit" gar nicht weit zurück! Wahrscheinlich hat sie der Mensch schon miterlebt. Die Alpen lagen unter mächtigem Eispanzer; alle Täler, die großen und kleinen, waren von Eis erfüllt. Dort, wo jetzt Inn, Rhein, Etsch usw. das Gebirge verlassen, ergossen sich die Gletscherzungen in die Ebene, um am Alpenrand

Tafel 5. Phot. Müller.

Adamellogruppe (Südtirol). Im Vordergrund „Blockgipfel". Aus dem blendend weißen Firnfeld strömen die Gletscher ins Tal. Etwas rechts von der Mitte des Bildes leckt eine „Gletscherzunge" weit über eine Felsstufe herab, die das Tal quer durchzieht. Die Berge links davon sind aufs feinste modelliert durch Wasser- und Lawinenrisse.



Tafel 6. Phot. W. Penck.

Madatschferner (Ortlergruppe). Ufermoränen umsäumen vorne und rechts die Gletscherzunge. Das Bild eines „Eisstromes" zeigt sich uns in vollkommener Weise. Die feinen Risse im Eis sind Spalten und deuten die Bewegung an.

Tafel 7. Phot. W. Penck.

Wildbachsammeltrichter im Dajatal (Japanische Alpen). In den Trichter etwas rechts von der Mitte des Bildes münden zahllose Seitengräben ein. Im Vordergrund die Anschwemmungen des Dajaflusses.

ihr Ende zu finden. Auf die Eiszeit, die ja nur einen kleinen Ausschnitt aus der Geschichte des Gebirges darstellt, geht nicht nur die Häufung von Verwitterungsschutt, die Auffüllung vieler Täler mit losen Ablagerungen zurück, sondern das ganze Gesicht, das uns die Alpen zeigen, ist durch sie geformt worden. Damit müssen wir uns hier begnügen.

Wir verlassen nun auch die allgemeinen Erscheinungen der Gebirgsabtragung. Sie mußten wir genau verstehen, denn sie führten uns zu der Erkenntnis, daß das Gebirge nichts Beständiges sein kann. Sie bergen aber auch den Schlüssel zum Verständnis spezieller Vorgänge der Abtragung in sich, denen wir uns nunmehr zuwenden. Als Schauplatz haben wir das Hochgebirge mit allen dort wirkenden Kräften kennen gelernt.

Wildbäche und Muren.

Abtragung, ständiger Massentransport zur Tiefe sind ihrem Wesen nach nur ein Ausdruck des Gesetzes der Schwere. Sie ist die letzte Ursache; das Wasser ist gleichsam nur ein Mittel, nur eine Transporterleichterung. Bei einer Gruppe von Erscheinungen, die auf das Hochgebirge beschränkt sind, kommt dies aufs deutlichste zum Ausdruck: es sind die Wildbäche, mit denen zusammen die Muren betrachtet werden müssen. Kaum eine andere Naturgewalt vernichtet so viele volkswirtschaftliche Werte; kaum gibt es einen sprechenderen Ausdruck für das Zerstörungswerk im Gebirge als die Wildwasser. Wollen wir zunächst die Teile eines Wildbaches kennen lernen, so steigen wir einmal entlang dem Laufe eines solchen hinan. Vom Talboden verfolgen wir die steile Runse, deren Mündung wir in sanftem Anstieg über Schuttmassen erreicht haben. Immer gröber werden die Blöcke im Bachbett, das kaum eine dünne Wasserader führt. Immer tiefer wird die Schlucht, immer jäher steigen zu beiden Seiten die Hänge an, während der Boden des Grabens dem Steigen immer größere Hindernisse entgegenstellt. Schon nähern wir uns der Waldgrenze, die Bäume lichten sich. Von den Seiten münden unter spitzem Winkel ähnliche, weniger tiefe Gräben ein.

Die Steilheit nimmt ab. Jetzt haben wir den „Hals" oder „Tobel" passiert und stehen in einem Zirkus wildester Schönheit. Zahllose Rinnen, Gräben ziehen nach allen Richtungen zum Kamm des Gebirges; Felswände ragen zwischen ihnen schroff auf und leiten zu den firngekrönten Graten. Der Wald liegt schon unter uns. Über uns, den Sammeltrichter des Wildbaches umkränzend, die leuchtende Eiswelt (Tafel 7)!

So eindrucksvoll spricht diese Stätte der Zerstörung zu uns! Das murmelnde Bächlein in der steilen Schlucht läßt uns aber daran zweifeln, daß es die tiefen Gräben ausgewühlt habe, daß es den ragenden Fels zusammenstürzen lassen könne.

Wie ganz anders ist aber das Bild, wenn ein starker Regen, ein Gewitterguß niedergegangen ist! In dem weiten Sammelgebiet, dem Trichter, laufen die unzähligen Wasseradern zusammen; reißend brechen die Massen durch den engen Tobel und ergießen ihre Hochflut mit verheerender Gewalt und Schnelligkeit in das Tal. Der Weg bis dahin ist ja nur kurz, denn durch eigene Mühe haben wir erfahren müssen, wie steil der Lauf des Wildwassers ist! Vergeht doch vom Niedergang des Gewitters bis zum Hereinbrechen der Katastrophe nur ein Zeitraum von einer oder wenigen Stunden.

„Lassen wir einmal, eingekeilt zwischen den Bergflanken, einen ausgiebigen Wolkenbruch niedergehen oder über ganze Gebirgszüge einen Dauerregen sich ausschütten, da rollen sich gleichsam massierte Truppen zum Hauptstoße auf. Von den glatten, abgeschabten Alpenböden stürzt das Wasser eilends in eine Bachrunse zusammen. Die

Sturmkolonne auf die tiefer liegende Region ist formiert. Das zusammengeschwemmte Wasser schleppt bereits Erdreich und Gebirgsschutt mit sich. Das starke Gefälle steigert in hohem Grade die Wirkung der Sturzmasse. Das lose Bett des Bachrunstes wird aufgerissen und der Fuß eines lockeren Hanges unterwaschen. Der Auflager beraubt, gleitet eine Uferwand in die gehetzte Flut, welche sich aufbäumt und im Schwunge, gleich einem Raubtiere, auf die andere Böschung sich wirft, sie gleichfalls untergrabend. Mächtige Felsblöcke werden losgespült und sausen wie Fangbälle in den Abgrund. Nun berennt das Wildwasser die Waldungen. Links und rechts krachen die Bäume nieder, und hinterher stürzt der Boden. Von obenher drängt verstärkter Nachschub, und immer unwiderstehlicher wird der Vorstoß ... Der mit rasendem Ungestüm einherbrausende Strom bohrt und erzwingt sich neue Bahnen, auf welchen er fortstürmt, ohne bestimmte Straßenlinien einzuhalten. Es ist kein Bett, kein Rinnsal mehr, nur eine grauenhafte Flucht stürzender Massen, vergleichbar den wüsten Raubzügen wilder Kriegshorden der Vorzeit, vor sich die Schrecken, hinter sich die Greuel. ☙ Alle die vielen Arme und Zweige des Murganges streben nur einem einzigen Wasserrisse, einer Sammellinie, einem Tobel zu, vorgezeichnet durch zusammenrückende Felsrippen. Die Passage gestaltet sich zu einer Klamm, einer Schlucht, einem Schlauch. Da verklemmt sich zwischen den felsstarren und scheitelrechten Seitenwänden ein herabgewälzter Blockkoloß, Baumstämme verspreizen sich und verrammeln den Ausweg. Rasch sind die Wasserlücken verlegt. Hundert Fuß hoch und höher staut sich die Masse. Der

Druck der Schutt- und Wasserlasten hämmert mit ungeheurer Gewalt gegen das zyklopische Schleusentor. Düstere Anzeichen lassen das Anrücken der Mure ahnen. Von ferne vernimmt man ein heilloses Getümmel, ein unbeschreibliches, hohles, alles übertäubendes Gepolter, eine Kanonade bei Sturmgeheul, stundenweit hörbar. Da erhebt sich mit einem Mal ganz nahe ein entsetzliches Getöse; eine grauenhafte Dissonanz von Dröhnen, Krachen, Brausen und Rauschen erfüllt die Luft. Im Aufruhr der Elemente erbebt der Boden. Wandartig und haushoch bricht brüllend der Wasserschwall mit seiner ganzen unheimlichen Ladung aus dem Zwinger hervor. Gleich der Windsbraut stürmt voraus die gepreßte Luft. Einige Male hintereinander wiederholt sich dieses Schauspiel wildester Bergromantik. Oft geht Mure auf Mure nieder. Aber lahmgelegt erscheint plötzlich die unbändige Gewalt. Das vorerst jähe Gefälle ist plötzlich abgesunken, und wie ein ausgespannter Fächer stöbert an der Ausgußpforte der Schuttstrom auseinander." (Breitenlohner.)

Schon nach dieser überaus lebendigen und naturwahren Schilderung können wir den Vorgang des Niederbrechens einer Mure den Phänomenen der Erosion zuordnen (Tafel 8). Erinnern wir uns, welch außerordentliche Bedeutung die Erosion als Gestalterin unserer Gebirge besitzt, so werden wir der Erscheinung der Wildwasser noch ganz anderes Interesse abgewinnen und in ihnen nicht mehr nur Verwüster menschlicher Siedelung und Kultur erblicken.

Das Wasser und die Schwerkraft sind die Faktoren, die den Massentransport bewerkstelligen. Schon der Name „Wildbach" spricht für sich: unter gewöhnlichen Umständen

fast trocken, schwillt das Bächlein nach Regen mächtig an; die Steilheit der Gehänge bringt das plötzliche, rasche Zusammenfließen der Wasser zustande. Dieselben Erscheinungen sind der *Mure* eigen, nur daß eine derartige Menge von festen Stoffen, Gesteinsblöcken aller Größen, mitgeschleppt wird, daß ein wahrer Gesteinsbrei, ein Schlammstrom entsteht. Aber auch hier *ist das Wasser das Treibende*, die unmittelbare Ursache zum Niedergang der Gesteinsmassen. Gerade dieser Umstand scheidet Muren, Erdschlipfe von Bergstürzen, bei denen die Trümmer *lediglich der Schwere folgend* zu Tal brechen. ☙ Beobachten wir die Vorgänge in dem kleinen Bach, der das Wildwasserbett durcheilt, so sehen wir nur feine Sandkörnchen, Tonteilchen, die das Wasser trüben, in Bewegung. Nur ganz kleine Körper werden transportiert, eben nur die, welche der vorhandenen Wasserkraft entsprechen. Die ständig tätige Wasserader arbeitet so lange, bis der Boden der Runse, die Hänge des steilen Sammeltrichters in einer Art Gleichgewicht sich befinden, d. h. bis die lockeren Schuttmassen, die allenthalben das feste Gestein bedecken, angepaßt sind an die erodierende, talwärts gerichtete Wasserkraft. Nun vermehren sich die Wassermengen, sie vermehren sich in ganz riesiger Weise: es werden überall feine Teilchen weggespült, und zwar in größerer Menge entsprechend den größeren Wassermassen. Gröbere Brocken verlieren den Halt und rollen zu Tal. Die Adern vereinen sich in den Runsen. In gleichem Maße wächst die Fähigkeit, feste Körper mitzureißen. Beladen mit Gesteinsbrocken, beginnt nun die früher geschilderte aufwühlende, unterhöhlende, erodierende Tätig-

keit des Wasserlaufes. Seitenhänge und Grund der Rinne werden aus dem Gleichgewicht gebracht. Mit katastrophaler Gewalt rollt und stürzt die Mure zu Tal, vor sich Blöcke von unglaublicher Größe einherjagend. Nicht nur die Theorie fordert, daß die Vorgänge sich in der Weise einen, sich von oben nach unten summieren: wir können wirklich das Anwachsen der Wasser- und Gesteinsmassen von Minute zu Minute beobachten. Draußen in der Natur können wir auch sehen, daß eine Mure nicht kontinuierlich, nicht als einziger, zusammenhängender Strom abwärts fließt. Überall dort, wo das Gefälle aus irgend einer Ursache geringer wird, läßt naturgemäß die Geschwindigkeit der Bewegung nach. Auf die langsamer fließenden Massen stürzen von oben hastiger bewegte. Jeder Einengung des Tobels muß ein Aufenthalt im Talweg entsprechen, denn, brandet die Mure auch mit titanischer Gewalt gegen das Tor — eine Stauung muß eintreten. So erreichen die Schlammströme stoßweise den Talboden. Es scheint, als käme Mure auf Mure aus dem Tobel und ergösse ihre wüsten Massen über fruchtbares Gelände. Mit vielem Recht ist die Mure, die das Tal erreicht hat, mit einem Lavastrom verglichen worden (Tafel 9). Nicht fächerförmig breiten sich die Gesteinsmassen aus, sondern wie Zungen lecken sie, in einzelne Strähne aufgelöst, weit ins Tal hinein, ja, oft an die gegenüberliegende Talwand anbrandend. Das Gebilde, das entsteht, hat etwa die Form eines halben Kegels, der sich an den Talhang anschmiegt, dessen Spitze in den Ausgang der Wildbachschlucht hineinragt. Man spricht von einem Schuttkegel oder Schwemmkegel.

Am Talboden oder in geringer Höhe über ihm hört die Steilheit der Bachbetten und Gehänge auf, die wir als erstes Charakteristikum für Wildbäche kennen gelernt haben. Mündet also ein solcher in ein Tal, so muß seine ganze Wucht zerschellen; er muß alles mitgeführte Material ablagern, und zwar dort am meisten, wo seine Transportkraft am jähesten gebrochen wurde: das ist an der Mündung des Tobels.

Es ist beobachtet worden, daß der Schlammstrom im Tobel selbst kleine Felsnasen einfach übersprang, unbekümmert um Windungen des Bettes. Entgegen dem Bestreben aber, infolge der lebendigen Kraft eine möglichst gerade Bahn beizubehalten, sucht die Mure doch, stets in der tiefsten vorhandenen Rinne zu fließen. Legt sich also an der einen Stelle eine Zunge (Tafel 9), ein Wulst des Breies in das Tal, so werden sich die Nachschübe nicht auf ihn legen, sondern neben ihn. Ständig wechselt so der Ort der Ablagerung, an der Tobelmündung den Anfang nehmend. Ständig türmen sich neue Massen rundum auf die unterste Lage, die den ältesten Muren ihre Entstehung dankt. Die schließlich gebildete Form ist der Schwemmkegel. Auf ihm finden wir dann oft die Bahn der jüngsten Mure, von wüsten Dämmen[1] eingefaßt.

Wie so ganz verschieden voneinander sind die Erscheinungen im Abzugskanal, im Tobel, und auf dem Schuttkegel — und alle Unterschiede lassen sich auf die eine Ursache, die

[1] Da bei allen bewegten, fließenden Massen am Rande die Reibung am größten ist, muß die Verzögerung auch am größten sein. Mit ihr nimmt die Transportkraft ab und es muß Ablagerung eintreten.

Gefällsverminderung, zurückführen. Mit rasender Eile jagt die Stirne der Mure, Riesenblöcke vorausssendend, sich überstürzend, im Tobel einher. Wie Zündhölzer brechen mächtige Baumstämme. Auf dem Schuttkegel kann man vor ihr einhergehen. Selbst schwache Gebäude werden nur umflossen, „eingemurt" und fallen nur manchmal dem Gewicht der lastenden Massen zum Opfer.

Zahlreiche Wildbachbetten ziehen von den Gebirgskämmen in das Tal. Jedes häuft am Ausgang einen mehr oder weniger großen Schwemmkegel auf. Nun fragt es sich, wie sich der Bach, der Fluß im Tale gegen die herbeigeschleppten Massen verhält. Erinnern wir uns der Vorgänge des Geschiebetransportes und der Ablagerung, so können verschiedene Fälle eintreten, die sich in der Natur auch tatsächlich beobachten lassen. Nehmen wir an, der Fluß besitze die Kraft, das mächtig zuströmende Schuttmaterial fortzuführen. Fortgesetzt wächst der Schuttkegel in die Breite und Höhe; an seiner Stirne aber, die das Flußbett erreicht, nagen die Gewässer ständig jene Teile weg, die dem vorgeschobenen Außenrand angehören. Der Schuttkegel wird angeschnitten. Nicht fächerförmig sieht das Gebilde aus, sondern wie ein Fächer, dessen Rundung gerade abgestutzt worden ist. Wie das Anschneiden, das Unterwühlen geschieht, haben wir schon erörtert. Ständig brechen die lockeren Massen nach, eine öde, jäh ansteigende Schuttwand bildend, die von den getrübten Fluten zur sanft ansteigenden Oberfläche des Schuttkegels leitet. — Auf lange Erstreckung begleiten oft diese kahlen „Anbrüche" den Fluß (s. Tafel 15). Haben Regengüsse den Schwemmkegel, besonders die steilen Anbrüche durchweicht, so ge-

schieht das Nachbrechen ungemein leicht; ganze Partien rutschen zum Fluß hinab, ganze Schlammströme ergießen sich über die jähen Hänge, durch die nagende Tätigkeit des fließenden Wassers am Fuße des Anbruchs der Unterlage beraubt. Auch hier entstehen also „Muren", wenn auch nur in kleinem Maßstab und ohne verheerende Wirkung.

Aber weiter: die Schnelligkeit, mit der ein Schwemmkegel wächst — gehen doch im selben Wildwasserbett in einem nassen Sommer allein eine ganze Reihe von Muren nieder —, ist meist so groß, daß die Schuttmassen in den Fluß hineinbauen, ihn mählich zur Seite drängen, ihn sogar ganz gegen die andere Talwand verschieben können. Wie ein mächtiger Fächer legt sich dann der Schwemmkegel quer über das Tal, umströmt vom Fluß, der des Schuttzuschusses nicht mehr Herr werden kann (Abb. 4, S. 56). In vielen Alpentälern ist diese Erscheinung so ausgeprägt, daß die Eigenart des Tales wesentlich auf ihrer Wiederholung beruht. Jeder Wildbach baut seinen Kegel am Ausgang des Tobels auf; jeder drängt den Fluß zur Seite; rechts und links von dem Gerinne wachsen abwechselnd die Kegel, schieben sie sich quer über das Tal. Dann muß der Fluß hin und her pendeln, bald einen Bogen um den einen Fächer beschreibend, bald in weiter Rundung nach der anderen Seite ausweichend.

Schließlich geschieht es nicht selten, daß die gewaltsam herbeigeschafften Massen das Flußbett gänzlich verlegen, das Wasser zum See stauen. Nur als Episode in der langen Geschichte der Talbildung bestehen diese Seen. Besonders klar tritt dies vor Augen, wenn der Mensch

das Werden und Vergehen ſelbſt geſehen hat. Im Jahre 1828 ging im ſüdlichen Tirol, in der Val Cia unterhalb des einſamen Dorfes Caoria, eine gewaltige Mure nieder. Überſteil ſenken ſich die Hänge in das düſtere Tal; ſie beſtehen aus Phyllit, einem weichen, leicht zerſtörbaren Geſtein. Die Verwitterung konnte die Felſen um ſo leichter in grobe und kleine Trümmer legen, als die feinplattige Struktur das Eindringen des Waſſers, die Wirkſamkeit des Spaltenfroſtes weitgehend begünſtigt. Große Maſſen von Schutt waren entſtanden, die nur der treibenden Kraft harrten, um zur Tiefe zu brechen. Gewaltige Regengüſſe durchweichten das lockere Material, und die langvorbereitete Kataſtrophe wurde ausgelöſt. Das Tal wurde verſchüttet, der Fluß zu langgeſtrecktem See geſtaut. Bald floß das Waſſer über die hochgetürmte Sperre und fing die langſame Wühlarbeit an. Dieſer alles zerſetzenden Tätigkeit konnte das Tor, das doch nur aus loſen Geſteinstrümmern aufgebaut war, nicht widerſtehen. Die Maſſen gerieten ins Wanken, vermiſchten ſich mit den toſenden Waſſern und — in unwiderſtehlichem Anprall brach die derart entſtandene Mure durch die enge Schlucht. In den ſiebziger Jahren geſchah dies Unheil. Heute iſt der See verſchwunden, nur ſchwache Spuren hat er hinterlaſſen. Der Schuttkegel iſt zerſchnitten, ſteile „Anbrüche“ ſind dem Fluſſe zugekehrt, Bäume und Sträucher haben ſich auf der talſperrenden Mure angeſiedelt.

Gewiß iſt das Auslaufen und Verſchwinden des Sees nicht immer von ſolch gewaltſamer Natur. Stellen wir uns vor, daß die Waſſerader, die ſchließlich über die Mure aus dem See abfließt, immer tiefer in den Schutt

einschneide, ihn nach allen Gesetzen der Erosion durchsäge, so wird der See seinen Ausfluß auch stets tiefer legen. Er wird allgemach verschwinden, auslaufen. Andererseits können durch irgendwelche Umstände die aufgestauten Wasser lange Zeiträume hindurch im Becken erhalten bleiben. Wer kennt nicht den Toblacher See, in dessen tiefblauer Flut die Fichten und helleuchtenden Zacken der Dolomiten darüber sich spiegeln? Eine mächtige Mure hat ihn aufgestaut!

Die Geschichte der Schwemmkegel ist noch nicht erschöpft. Üppiges Grün überkleidet die breiten Fächer, die sich in den Tälern an die Bergflanken anlehnen. Wiesen, Felder, Ortschaften, Obstgärten wirken zu einem friedlichen Bilde zusammen, als kenne das Land gar keine gewaltsamen Naturerscheinungen, als gäbe es keine Verwüstungen. Vielleicht ist wirklich kein Murbruch mehr zu fürchten gerade an der Stelle, die wir der Betrachtung unterziehen; vielleicht ist aber diese Ruhe nur die Pause, die erneutem Unheil vorausgeht, das Atemholen vor neuem Ungestüm. Wie dem auch sei, das Bächlein, dessen unerhörte Kraftsteigerung zur Mure das ganze Gebilde schuf, beginnt, seinen Lauf in den Schwemmkegel einzuschneiden. Darin folgt es nur den Gesetzen des fließenden Wassers, die im normalen Zustand auch normal zum Ausdruck kommen. — Auf entzückender Wanderung steigen wir im Inntal über frischduftende Wiesen, durch blühende Obstgärten gegen das tief verschneite Gebirge bei Hall in Tirol an. Der Pfad führt über den Schuttkegel des Haller Tales hinan. Da wird der Schritt plötzlich durch einen ansehnlichen Graben gehemmt, an dessen spärlich bewachsenen Hängen

die einzelnen Schuttlagen frei zutage liegen, die Innenstruktur des Schwemmkegels verratend. Dieser Graben ist das Werk des munter plätschernden Bächleins in seinem Grunde. Wer traute ihm diese Arbeit zu? Solche Schwemmkegel, die durch den eigenen Wildbach zerschnitten werden, die in jeder Hinsicht Zeichen tragen, daß ihre Aufschüttung der Vergangenheit angehört, sind wohl auch „tot" genannt worden.

Die Erscheinung der Mure ist uns vertraut; nun entsteht aber die Frage nach den Ursachen, den Bedingungen, die eine derartige Steigerung abtragender Vorgänge im Gebirge herbeiführen. Vor allen Dingen: warum kennt das Mittelgebirge keine ähnlichen Ereignisse? In Beantwortung dieser Frage muß ich zurückgreifen auf die Vorgänge der Abtragung überhaupt. *Steilheit der Berghänge, eine entsprechende Höhe dieser Hänge sind* notwendig, um Wildbachbetten entstehen zu lassen. Die Höhe ist nötig, um die lebendige Kraft zu erzeugen, die den Abgang der Schutt- und Wassermassen zur Katastrophe steigert. Die Höhe des Gebirges ist aber noch in anderer Hinsicht von Bedeutung: sie erklärt die Herkunft des Wassers! Gedenken wir nur der hohen Gebirge (S. 4) als Kondensatoren des Wasserdampfes!

Im einzelnen wird uns die Betrachtung der Witterungsverhältnisse in den Alpen manche Aufklärung bringen, namentlich wenn wir es unternehmen, die Verteilung der Murgänge, das Auftreten der Katastrophen in zeitlicher Folge zu erklären. — Die vorherrschenden Regenwinde kommen von Westen. Jeder Baum, jedes Haus, jeder Felsblock bestätigt den Satz. Die „Wetterseite" der Bäume

ist von grünen Algen und Flechten bedeckt, die nur dort genügend Wasser bekommen. Mauerwerk wird an der Wind- und Regenseite leicht zerstört; es bröckelt ab. Wir schützen die Häuser häufig durch eine Holzverschalung gegen diese Zerstörung. Der Fels wird an der Wetterseite am raschesten von Flechten und Moosen besiedelt; am ehesten bildet sich unter der lösenden, sprengenden Tätigkeit der Organismen eine Verwitterungskruste. Dort sind die Bedingungen für den Zerfall des Felsens in Trümmer am günstigsten. Und stets fällt bei uns die Wetterseite mit der Westseite zusammen. Es ist also verständlich, daß die Lage eines Berges, die Exposition eines Hanges gegen die Regenwinde am schwersten in die Wagschale fällt bei der Beurteilung alpiner Katastrophen! Je höher ein Berg, desto mehr Niederschläge wird er erhalten. Leichter verdichten sich die Wolken, mehr Feuchtigkeit wird ihm zugeführt, denn ungehindert bestreichen ihn die Winde, die Träger des Wasserdampfes. Gleichgültig ist zunächst, ob die Niederschläge als Regen oder Schnee fallen. Stets sind die „Luvseiten", die dem Regenwind ausgesetzt sind, auch feuchter als die geschützten „Leeseiten". Nun wird uns klar, daß die nasse Regenseite eines Berges oder ganzen Gebirges auch reicher sein wird an Wasseradern, an Wildbächen, wenn im Platzregen die Rinnsale schwellen und sich einen.

Es ist aber nicht genug, daß das Wasser überhaupt fällt: es muß eine rasche, plötzliche Steigerung der Wasserkraft eintreten, die imstande ist, mit einem Schlag die ganze Erosionsarbeit zu leisten, die durch das Unvermögen des schmalen Bächleins aufgespeichert worden ist.

Da ſind es vornehmlich die Gewitter, die meiſt auf beſchränktem Gebiet mit unbeſchreiblicher Gewalt niederprasſeln; kann man doch dies Schauſpiel von luftiger Bergeshöh betrachten, ohne nur einen Regentropfen zu bekommen! In kurzer Zeit iſt jeder Graben waſſererfüllt, jeder Bach ein reißender Strom, jeder Hohlweg ein Wildwaſſer! Faſt nie geht ſolch Wetter nieder, ohne die höheren Berge mit Hagel zu übergießen. Die Wolken ziehen ab, die Schloßen bleiben liegen und ſchmelzen in der ſtrahlenden Sonne mit unheimlicher Schnelligkeit. Das Tal unten atmet in wiedergefundener Ruhe auf — da brechen unerwartet die Muren durch die Wälder, gelöſt durch die Schmelzwäſſer. Dieſe ſind es auch, die zur Zeit des Föhn den Tälern den Schrecken bringen. Der warme Südwind, der die Alpen überſchritten, ſtreicht über die tiefverſchneiten Kämme, löſt Lawinen und bringt für weite Gebiete eine ungeheure Schneeſchmelze. Während laue Luft in den Tälern das erſte Grün hervorzaubert, ſtürzen oben auf ſonnbeglänzten Scheiteln die Waſſer und Lawinen zuſammen und wälzen ein grauenhaftes Chaos von Schnee, Waſſer, Geſtein und Bäumen zu Tal.

Langandauernder Regen allein würde ſelten zu Kataſtrophen führen, wäre er nicht für den Beſtand großer Maſſen lockeren Schuttwerkes verhängnisvoll. Wie ein Schwamm ſaugt ſich das Trümmerwerk mit Waſſer voll. Die groben Brocken beginnen in dem feinen, durchtränkten Brei förmlich zu ſchwimmen; alles gerät langſam in Bewegung. Raſcher wird das Fließen, je ſteiler die Bahn wird. Als Mure bricht die Maſſe ſchließlich nieder, dem Geſetz der Schwere folgend.

Dieser Vorgang leitet uns schon zu einem anderen Punkte über: der Frage nach der Herkunft des Materials.

Ist Wasser gestaut, so wird der Ausbruch der Hochflut häufig durch eine Mure eröffnet. Die Sperre liefert hier die festen Stoffe. Es ist fast gleichgültig, ob diese Stauung durch Bergstürze, Muren (Caoria!), durch Lawinen oder Gletscher, wie bei der Katastrophe im Martelltal (Südtirol), verursacht wurde. Auch die Nachlässigkeit der Alpenbewohner ist zur Verantwortung zu ziehen.

Die Überschwemmungskatastrophe im Zillertal (1908) z. B. wurde dadurch so sehr verschlimmert, daß einzelne Runsen, wie der Hopffelder Graben, durch gefällte Baumstämme versperrt waren. Und er ist berüchtigt als Wildtobel! Wasser und Schutt stauten sich und brachen mit doppelt verheerender Gewalt hervor, das bedrängte Tal heimsuchend.

Das feste Material kann noch anderer Herkunft sein. Der Bach unterwühlt die Felswände seiner Ufer, beraubt sie der Stütze. Sie brechen nieder, in kleine Stücke zerschellend. Ein Stausee geringeren Umfanges entsteht: alle Bedingungen sind hier für eine Mure gegeben, für die der feste Bestand eben erst geschaffen worden ist.

Lose muß das Material sein, große Beweglichkeit muß es besitzen.

Es wirken nun im Gebirge alle Verwitterungsprozesse einander in die Hand, diese letzte Bedingung zu schaffen: Erzeugung großer Mengen beweglicher Gesteinsmassen (S. 5—10). Unter gleichen Bedingungen, d. h. aus Felsen gleicher Struktur und Lagerung, bei gleicher Verwitterungstätigkeit, werden auch an verschiedenen Orten

Tafel 8. Phot. Dr. Götzinger.

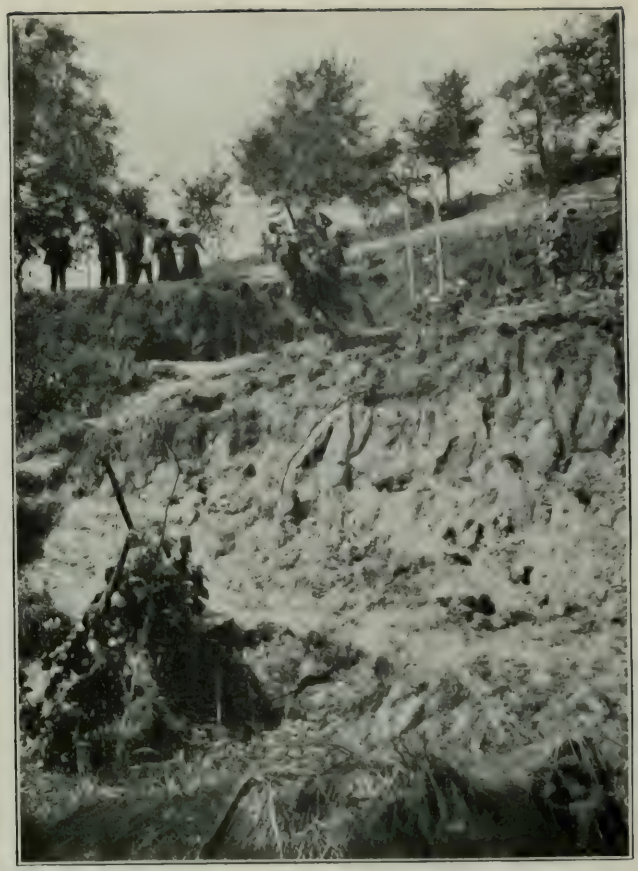
Wildbachbetten, mit Muren und Lawinenschnee erfüllt.

Tafel 9. Phot. A. Baltzer.

Murgänge des Lammbaches am Brienzer See. Nach Professor A. Baltzer. Erstarrten Strömen gleich bleiben die Schuttmassen auf dem Kulturland liegen. Die Ähnlichkeit mit Lavaströmen ist unverkennbar. Das ganze Seeufer vor den Bergen ist Schwemmland, ein sehr flacher Schuttkegel.

Tafel 10. Phot. Dr. R. Ewald.

Durch den Erdrutsch eingedrückte Häuser in Mühlhausen.



Tafel 11. Phot. Dr. R. Ewald.

Erdrutsch von Mühlhausen. Die absinkenden Schollen. Die Menschen stehen am Rande des Rutsches auf dem ungestörten Berghang.

gleiche Produkte hervorgehen. Daher kommt die universelle Verbreitung von Verwitterungsschutt im Gebirge, gleichviel, ob ihn diluviale Gletscher und Flüsse (S. 32) schufen oder ob heutige Eisströme die Moränen häuften, der tosende Bach heute die Stücke vom Felsen schlug. Indes war die Gletschererosion der Eiszeit eine wesentlich größere als heute, so daß wir ihre Moränen über große Gebiete mit bedeutender Mächtigkeit gebreitet sehen. Darum finden wir in ihnen naturgemäß die besten Förderer für Murbrüche. Sie werden zu den gefährlichsten und gefürchtetsten. Die Mure, die den Toblacher See (S. 44) staute, wurde durch eiszeitliche Moränen gespeist. Und sie war beträchtlich genug, eine bleibende Spur in der Landschaft zurückzulassen: den See! Natürlich schaffen auch heutige Gletscher bisweilen ein Gelände, auf dem gewalttätige Vorgänge der Abtragung zur vollen Entfaltung kommen können. Im Ötztal hinterließ der Vernagtferner bei seinem Rückzug eine aufgearbeitete Talstrecke: „Über 2 km zieht sich ein breites, felsdurchsetztes Schuttfeld von abschreckender Öde und Wildheit empor ... Bei anhaltendem Regen kommt unheimliches Leben in die starre Landschaft. Muren durchfurchen die abschüssigen Schutthalden, losgewordene Moränenblöcke rollen zu Tal, und am Abbruch der Zwerchwand sausen zahllose Felstrümmer hernieder und schlagen mit lautem Getöse auf den Blockhalden auf. Im Frühsommer, zur Zeit der Schneeschmelze, ist hier kein Fußbreit Boden, über den nicht Lawinen fegen." (Finsterwalder.)

Ist das Gestein „weich", leicht zerstörbar, so läßt es das Wasser wenig einsickern. Oberflächlich läuft es ab und

strömt rasch in Sammeltrichtern zusammen. Wo Schiefer, Ton, Mergel die Berge aufbauen, da sind Muren eine häufige Erscheinung. Der in grobe Blöcke aufgelöste Granit, die schweren Kalktrümmer eines Bergsturzes eignen sich nicht zum „Muren". Ihnen mangelt schon die Beweglichkeit, die um so geringer wird, je größer die Brocken sind. Auch bei stärkerer Neigung des Untergrundes, die diese Beweglichkeit erhöht, werden die oft zu zyklopischen Mauern getürmten Blöcke nur schwer ins Wanken geraten! So hängt denn das Muren auch von der Gesteinsbeschaffenheit ab!

Wenn ich S. 47 hervorhob, daß die bloße Durchweichung losen Schuttes zu Murbrüchen führen kann, so ist damit schon angedeutet, daß der *Grad der Trockenheit oder Durchnässung* für die Beweglichkeit maßgebend sein muß. Dies prägt sich auch schon in der Steilheit einer Lehne aus. Trockene Schutthalden, wie sie alle Felswände umsäumen, senken sich unter Winkeln von 40—45 Grad zu Tal. Sind das auch Höchstwerte, so übertrifft doch die Durchschnittsneigung von etwa 30 Grad bei weitem diejenige *nasser* Schwemmkegel, die höchstens mit 10—15 Grad geböscht sind.

Sickerwässer und Quellen vermindern innerhalb der Schuttablagerung, sei sie welcher Art immer, die Reibung der einzelnen Teile gegeneinander. Wasser und staubfeine Partikelchen bilden eine Grundmasse, in der die gröberen Trümmer schwimmen und große Beweglichkeit erlangen. Durchschneidet also ein Bach, wie z. B. der Ahrnbach im Zillertal, von Sickerwässern durchtränkte Schutthänge, so neigt er ganz besonders zur Murbildung. Regelmäßig

entsendet er bei Regen seine Schlammfluten; am verheerendsten kam er bei der Katastrophe von 1908 zu Wort. Zu den durch Abbruch im Sammelgebiet entstandenen Massen gesellen sich noch solche, die im Tobel aufgespeichert worden waren. Die große Lammbachmure von 1896 (Tafel 9) zeigte ähnliche Verhältnisse: seit Jahren kündigte sich durch Spaltenbildung der Abbruch an. Als nun eine Quelle an seinem Fuß, durch starke Schneefälle der Jahre 1895/96 wasserreich, den Sturz herbeiführte, rissen die mit Rasenpolstern und Waldpartien beladenen Schuttmassen alles lockere Material im Abzugskanal mit sich. $3^1/_2$ km lang, 5 m hoch, 120 m breit wälzte sich der Schuttstrom dem Brienzer See zu.

Die Möglichkeit einer vollständigen Durchweichung ist dann gegeben, wenn langdauernder Regen einsetzt. Ist dieser auf eine bestimmte Jahreszeit beschränkt, so dürfen wir ein regelmäßiges, zeitliches Auftreten auch der Muren erwarten. Und in der Tat sind z. B. die überaus verheerenden Murgänge der südlichen Alpen mit den *Herbstregen* aufs innigste verknüpft.

Die Natur schafft aber selbst gleichsam ein Schutzmittel gegen das gewaltsame Aufreißen, Zerfurchen der Bergeshänge. Auf dem fruchtbaren Boden, den die Verwitterung aufbereitet, zerkleinert hat, gedeiht eine dichte *Pflanzendecke*. Die oberirdischen Teile der Pflanze entnehmen dem Untergrund Wasser, das in Dampfform wieder an die Luft abgegeben wird. Die *Austrocknung nasser Schuttmassen* erfährt durch die Planzennarbe eine wesentliche Förderung. In den Alpenländern ist diese Tatsache von höchster Bedeutung, weil der Mensch, ob-

gleich er die Gefahr kennt, meist nicht daran denkt, das Übel an der Wurzel zu bekämpfen. Läßt sich auch verstehen, daß der Bauer oder die arme Gemeinde eine kostspielige Quellfassung scheut, so sollte doch die Überlegung maßgebend sein, daß der Wert der kulturellen Güter, die fast mit Sicherheit alljährlich zerstört werden, ungleich größer ist als die Ausgaben für eine Trocknungsanlage. Die Natur tritt hier für die Lässigkeit des Menschen ein; sie unterstützt ihn aber auch dort, wo seine Maßnahmen nicht ausreichen können. Ein geschlossener Waldbestand kann die Gefahr der Durchfeuchtung von Lehnen einigermaßen beheben, kann zur Sicherheit vor Murbrüchen wesentlich beitragen. Einwandfrei ist beobachtet worden, daß nach Abholzen eines Waldes Quellen zutage kamen, daß der Überschuß an Wasser Pfützen und Tümpel bildete! Abgesehen von dieser „sanierenden" Wirksamkeit der Planzendecke wird die Festigkeit des lockeren Bodens auch noch auf andere Weise erhöht. Von verwickelten Vorgängen, wie Temperaturerhöhung des Bodens durch die Pflanzen will ich hier nicht sprechen. Daß infolgedessen auch der Frost seine lockernde Tätigkeit nicht mit vollem Erfolg entfalten kann, liegt auf der Hand. Rein mechanischer Natur sind die hauptsächlichsten Schutzwirkungen der Vegetation, die auch für die Gebiete über der Waldgrenze Geltung haben, in denen ja besonders die Sammeltrichter liegen. Die Pflanzen, und zwar sind es in größerer Höhe Alpenrosenstauden und Gräser, umspannen mit dichtem Netz von Wurzelfasern die feineren Gesteinskörner, die sonst schon durch heftigere Windstöße fortbewegt würden. Dickere Wurzelsträhne wirken wie

eingerammte Pfähle. Sie stützen die beweglichen Massen in größerem Umkreis. Denken wir nur an die Dünen etwa der deutschen Küsten, die jede Wanderlust verlieren, sobald ein frischgrünes Kleid von Gräsern sie besiedelt! Unterstützt die Vegetation auch die Verwitterung, so hindert sie doch den Transport zu Tale; sie verzögert ihn und verhütet die katastrophale Talfahrt.

Nicht unbeachtet darf bleiben, daß die Wucht aufschlagender Regentropfen gemildert wird, daß die nicht hoch genug zu veranschlagende Tätigkeit rieselnden Wassers unterbunden werden kann. Vollständig trifft dies natürlich nicht zu, denn bei Landregen, der oft wochenlang dauern kann, wird jede Schuttmasse, ob sie von dichtem Wald bestanden ist oder nicht, durch und durch mit Wasser getränkt. Kein Mittel irgendwelcher Art vermag dann Murbrüche zu verhüten!

Moose und Graspolster saugen sich mit Regenwasser voll; der einzelne Tropfen, der durch seinen Fall ein Gesteinskörnchen in Bewegung setzen könnte, verliert seine lebendige Kraft im Anprall an Baumwipfel oder an den bemoosten, überwucherten Boden. Diese Summe von Arbeitskraft, die dergestalt vernichtet wird, ist eine sehr bedeutende, denn auch von einem ungehinderten Abfließen ist ja nicht die Rede. Jeder Grashalm ist ein Hindernis; millionenfach aufgehalten, sickern oder fließen die Gewässer auf der Pflanzendecke zu Tal, ohne den wohlverborgenen Boden, der sich unter der Grasnarbe vielleicht mit Wasser vollsaugt, wirklich zu bespülen.

Wieder führt uns diese Betrachtung zur Tätigkeit des Menschen, der in den Wäldern nur ein Kapital, eine

Vorratskammer für Nutzholz erblickt, der das zähe Wurzelwerk der Alpenrosen rodet, um Weideland zu gewinnen, der mit dem Pflug den Boden lockert und so das Zustandekommen, das Hereinbrechen der Muren fördert. Indes darf nicht verkannt werden, daß dieser Einfluß stark überschätzt worden ist. Die Muren sind ein Phänomen, das in der Erdgeschichte seine Rolle spielt, seit Gebirge entstanden und abgetragen worden sind. Es ist also unrichtig zu meinen, erst die Rodung der Wälder durch den Menschen habe diese Naturgewalten wachgerufen; liegt doch der Herd, der Sammeltrichter, meist über der Region, in der Wälder gedeihen können! Zweifellos ist jedoch in einzelnen Fällen durch Nachlässigkeit oder Unbedacht schweres Unheil hervorgerufen worden. — Auf der anderen Seite stehen die Versuche, durch Verbauung den Ablauf der Gebirgsabtragung weniger gewalttätig zu gestalten. Freilich wirken diesen Bemühungen eine ganze Reihe anderer Geschehnisse entgegen, die mit menschlicher Wirtschaft in engem Zusammenhang stehen. Nicht leugbar ist der schädigende Einfluß des Eingriffes in die Pflanzendecke an steilen Gehängen, die der Wildwasserbildung günstig sind. Wird der Boden aufgelockert, etwa durch Pflügen, oder — eine Erscheinung, die wir auf den Almen überall beobachten können — durch den Tritt des Viehs; rinnen die Brunnenwässer ohne Fassung über die Hänge ab, um im Gehängeschutt zu versiegen, so können die Folgen sehr gefährlichen Charakter annehmen. Rutschungen in Wiesenhängen, Vorboten eines Massentransportes zur Tiefe, hervorgerufen durch die Tränkung des Bodens mit abfließendem Brunnenwasser,

sind leider recht häufig. Aus dem Zillertal in Tirol wird berichtet, daß auf einer Alm (Hausleteralm) Erdbewegungen lediglich durch den Weidegang des Viehs vorbereitet wurden! Noch manches ließe sich hier anführen. — Gedenken wir der Verheerungen, die Wildbäche und Muren anrichten, so werden wir begreifen, daß die Anstrengungen keine geringen sind, dem Übel zu steuern. Haben doch einzelne Katastrophen eine erschreckende Zahl von Opfern gefordert. 1892 sind in St. Gervais im Mont-Blanc-Gebiet 150 Menschen umgekommen! Haustiere, Wild, Gegenstände gewerblichen Fleißes werden vernichtet, Felder verwüstet, Wälder gebrochen. Der unmittelbare Schaden ist ein sehr hoher und doch — er ist bei weitem nicht so schwer wie die Folgen, die sich auf Jahre hinaus fühlbar machen. Verkehrswege werden verschüttet, ganze Täler auf Wochen von der Außenwelt abgeschnitten. Aber auch Flußläufe werden verlegt, urbares Land überschwemmt, fruchtbarer Ackerboden in Sumpf und Moor verwandelt. Überaus häufig treffen wir in den Alpentälern den Wechsel: Schwemmkegel — Moor in steter Wiederholung. Die versumpften Landstriche sind oft die Reste alter Stauseen, wie dies im vorderen Zillertal der Fall sein dürfte. Der See ist ausgelaufen, der Abfluß ist aber nicht tief genug durch den Schuttkegel gesägt, um den Seeboden wieder trockenzulegen. Häufig ist auch die Versumpfung der erste Anfang der Wasserstauung. Noch vermag der Fluß seinen Weg offen zu halten: in weitem Bogen gleitet er am Saum der Aufschüttung entlang. Aber das Flußbett wird stets mehr eingeengt, stets flacher. Immer mehr werden sich die Wasser oberhalb des Kegels ausbreiten.

Die Schwemmkegel selbst sind ungemein fruchtbar, oft bevorzugt vor allen anderen Teilen der Täler. Hier sind auch die Siedelungen, hier die Felder und Gärten. Und doch sind hier die Gefahren am größten! Aber zäh hält der Alpenbewohner an der Scholle fest. In den meisten Fällen wäre es auch unverantwortlich, den fruchtbaren Boden fahren zu lassen. Nur müssen dann die volkswirtschaftlichen Werte vor Zerstörung geschützt werden. Um dies zu tun, sucht man dem Bachbett eine feste Bahn zu geben. Fegt die Mure nun zwischen Dämmen dahin, so wird ihr Material das Bett bald ausfüllen. Neue Dammerhöhungen werden notwendig. Bald liegt das Bachbett hoch über den Fluren. Die Wege müssen ansteigen, um die Dämme zu überschreiten, oder es führen Tore durch die Wälle. Bei Roncegno (Val Sugana, Südtirol) werden zu Regenzeiten diese Tore durch mächtige Bohlen verschlossen. Freilich kann es geschehen, daß die Wildwasser die überhohen Dämme durchbrechen und sich mit doppelt verheerender Gewalt über das ganze Kulturland ergießen. Dann zu meinen, der Kampf gegen Naturgewalten sei vergeblich, ist verfehlt. Angesichts der zahlreichen gelungenen Verbauungen darf wohl ausgesprochen werden, daß die menschlichen Bemühungen

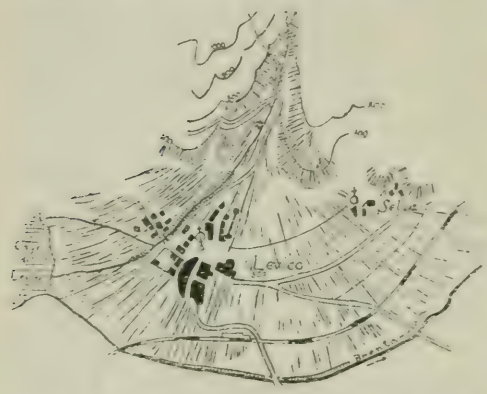


Abb. 4. Kartenbild des Schuttkegels von Levico im Suganatal (Maßstab 1 : 75000).

hier von Erfolg gekrönt worden sind. Es handelt sich ja nicht darum, den abtragenden Kräften im Gebirge entgegenzuarbeiten; das wäre vermessen! Sie aber in gemäßigte Bahnen zu leiten, die plötzliche, zeitweise wiederkehrende Geschiebeführung in einen ununterbrochenen, unschädlichen Massentransport zu verwandeln, ist Aufgabe des Technikers. Die Quermauern, die im Tobel und oben im Sammeltrichter auch in den verzweigtesten Rissen und Furchen gebaut werden, haben also nicht den Zweck, die Zufuhr von Schuttwerk zu verstopfen, sondern die Wucht zusammenströmenden Wassers immer wieder aufs neue zu brechen. Die Mure soll zum Gießbach werden, der in hundert Kaskaden das Tal erreicht. Hand in Hand damit muß die Festigung der Talhänge gehen; wir treffen sie in den Alpen so oft in Form ausgedehnter Weidengeflechte und Verpfählungen an. Hierdurch wird eine starke Schuttzufuhr von den Seiten her verhütet.

Durchwandern wir zum Schlusse eines der großen Alpentäler, so werden wir in manchen Zügen der Landschaft die bleibenden Nachwirkungen der Muren und Wildwasser erkennen. Das Vintschgau, das der Oberlauf der Etsch durchströmt, bietet vortreffliche Gelegenheit. Breit ist das Tal eingesenkt zwischen die Schneehäupter der Zentralalpen und der Ortlergruppe. Eisfreie, langgestreckte Kämme, Ausläufer der genannten Gebirgsgruppen, senken sich mit überaus steilen Hängen in das grüne, sonnige Tal. Kleine Nebentäler münden von Norden und Süden und gewähren dem staunenden Auge einen entzückenden Einblick in die Eiswelt weit in ihrem Hintergrunde. Unzählige Wasserrisse durchfurchen die Hänge des breiten

Tales, schneiden aus den Schiefermassen der Berge ein scharfes, lebendiges Relief. An ihrem Ausgang liegen die Schuttmassen zu kleinen Kegeln gehäuft. Diese Einzelheiten sind es jedoch nicht, die dem Beschauer in die Augen fallen, obgleich auch sie ohne Ausnahme Wildwasser zu Bildnern hatten. Die breiten, über und über begrünten Schuttkegel am Ausgang der tiefen Nebenschluchten bedingen die ganze Eigenart des blühenden Vintschgaus. Wie breite Kuchen, bis zu 500 m Höhe mit ihrer Spitze in die Tobel ansteigend, mit den sanft geneigten Fluren einen Halbkreis von vielen Kilometern Umfang beschreibend, liegen die Kegel quer über den Talboden gebreitet.

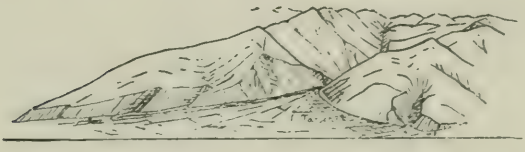


Abb. 5. Sammeltrichter und Schuttkegel von Tarsch (Vintschgau).

Von beiden Seiten schieben sich die behäbigen Massen in das Tal, die Etsch in weiten Bögen von Talseite zu Talseite drängend. Auch die Bahn muß in langen Umwegen die Höhe erklimmen, um sich talauf wieder zu senken. Von Reschen, dem Ursprungsort des Flusses, kommend, erreichen wir den Reschensee, ein Becken, das durch einen kleineren Schuttkegel entstanden ist. In kurzer Zeit gelangen wir an zwei weitere Seen derselben Entstehungsart, voneinander getrennt durch die stauenden Schuttmassen. Der ganze breite Talboden aber, der mit auffällig steilem Gefälle nach dem Ausgang des Suldentales zu absinkt, die ganze ungeheure Masse, die Mals und eine Reihe anderer alter Städtchen, Marktflecken

und Dörfer trägt, der Untergrund, auf dem die drei Reschensee ruhen, das alles ist ein einziger, mächtiger Schuttkegel, der das Tal 500 m hoch mit seinem Material erfüllt. Dies ist die berühmte Malser Heide. Von hier nach abwärts beginnt der eigenartige Wechsel flacher Talstrecken, die meist Weideland sind, und geneigter, hoher Schuttkegel, auf denen sich ein wahrer Garten von Obstbäumen und Feldern dehnt. Sie sind immerwährend bedrohte Striche blühenden Landes! — Nicht so scharf prägen sich die Schuttkegel unterhalb Meran aus; indes tritt hier die Erscheinung auf, daß das Tal oberhalb Bozen durch die gemeinsamen Aufschüttungen der Eisack und Talfer, Tributäre der Etsch, versumpft ist. — Allenthalben wiederholen sich diese Züge in unseren Alpen und bezeugen, welch große Bedeutung den Muren als Ausgestaltern des Gebirges zukommt!

Bergschlipfe und Bergstürze.

Die speziellsten Erscheinungen der Abtragung im Hochgebirge sind die Bergstürze. Sie gehen nieder, wo die Bedingungen durch irgendeinen Zufall vorhanden sind. Von Ort zu Ort können diese verschieden sein; von Fall zu Fall muß die Untersuchung einsetzen, die Ursachen für diese furchtbarste aller Hochgebirgskatastrophen zu entdecken.

Wenige historische Berichte wissen von Bergstürzen zu erzählen. Wollte man sie allein als Quelle heranziehen, so müßte man denken, der Fels breche nur ganz selten in großen Massen zu Tal, die Bergstürze seien eine Ausnahmeerscheinung. Indes, wie lange ist es her, daß der Mensch unser Hochgebirge sehend durchstreift? Wie lange ist es her, daß uns die Forschung, die Beobachtung der Natur in die entferntesten Winkel des Gebirges treibt? Und der Alpenbewohner: er achtet nicht der Schönheit, die ihn umgibt; er achtet auch nicht der gigantischen Kräfte, die um ihn wirken — solange sein Besitz, seiner Hände Arbeit nicht zerstört wird. — Und doch, durchwandern wir ein Tal, betrachten wir mit Aufmerksamkeit die Hänge, die Felswände und Trümmerhaufen, die sie umsäumen, überall trifft das Auge Blöcke, die wie von Riesenhand getürmt, übereinander geschichtet worden zu sein scheinen.

In jedem Tal, an jedem Berg liegen die Zeugen der Bergstürze. Und durchsteigen wir die schwer zugänglichen Kare, überklettern wir die Felsstufen und Grate, die nach den einsamsten Hochtälern, die in den Bereich ewigen Schnees leiten, nirgends vermissen wir diese Trümmer, nirgends die glatten Wände, von denen sie losgebrochen sind. Wie groß muß also die Bedeutung der Bergstürze sein, das Gebirge abzutragen, ihm bestimmte Linien ins Antlitz zu graben! — Und wie viele dieser Katastrophen haben die Menschen geschaut? Es sind verschwindend wenige. Der Gedanke, der uns bei der Betrachtung der Tätigkeit fließenden Wassers beschäftigt hat, taucht hier wieder auf. Seit die Gebirge stehen, seit Wasser von ihrem Scheitel niederfließt, seit Schnee ihre Hochzinnen deckt, seit Lawinen und Muren ihr Spiel begannen, donnern Bergstürze zu Tal. Ist die Erscheinung auch eine seltene, so sind doch unermeßliche Zeiträume vergangen, während derer die Berge zerbröckelten und lose Felswände abschüttelten; unermeßlich nach den Begriffen des Menschen!

Ehe hier von einzelnen der Katastrophen erzählt werden soll, wollen wir einen Augenblick bei der Frage verweilen, wie die *Gesteine* entstanden sind. Sie setzen die Berge zusammen; ihre Trümmer liefern den Bestand der stürzenden Felsen.

Über Gesteinsbildung.

Mustert man die Berge mit einiger Aufmerksamkeit, so wird in vielen Fällen der lagenweise Aufbau der Gesteine auffallen. Die weißen Kalke, die Schiefer, die Sandsteine besitzen eine Struktur, nach der sie in *Schichten* ange-

ordnet sind, durch parallele Klüfte voneinander getrennt. Nicht immer tritt dies deutlich hervor (s. Tafel 3); oft vermeinen wir, vor ungeschichteten Gesteinskomplexen zu stehen. Indes werden wir unter Umständen beobachten, daß die Schichtung zwar im kleinen zurücktritt, daß dagegen doch eine grobe Absonderung vorhanden ist, die dicke Gesteinsbänke entstehen läßt. Oft macht der Schnee die Schichtung weithin sichtbar, wenn er auf den kleinen Schichtflächen liegenbleibt, an den steilen Schichtabbrüchen aber nicht zu haften vermag (Tafel 12); prächtig tritt dann die Struktur der Berge hervor! — Wie entsteht Schichtung? Sie ist charakteristisch *für alle im Wasser abgesetzten Gesteine*. Lage für Lage setzt sich ab; gerät die Ablagerung durch irgendwelche Vorgänge ans Tageslicht, so graben die Rinnsale Furchen in sie ein, durchschneiden Schicht für Schicht und lassen so die Entstehungsgeschichte des Gesteines erkennen. Am besten verfolgen wir diese etwa in einem Gebirgssee. Ein Fluß mündet in ihn ein und schafft eine Menge von festem Material als Gerölle und Schlamm in das Wasserbecken. Im Frühjahr ist der Fluß durch die Schneeschmelze angeschwollen; er vermag auch mehr Gesteinstrümmer mit sich zu führen. Große Mengen von Geröllen werden im See abgelagert, mächtige Schlammassen trüben die Fluten. Im Sommer schwindet die Flut; nur bei starken Regen, bei Gewittergüssen schwellen die Wasser und tragen wieder ungeheure Schottermassen in den See. Nacheinander kommen die festen Bestandteile zur Ablagerung. Dies Nacheinander erzeugt die Schichten; jeder Pause im Ablagern bei Niederwasser entspricht eine Schichtfuge. — Schon

früher hatten wir gesehen, daß das Ablagern in dem Augenblick eintritt, in dem die Transportkraft, die Bewegung des fließenden Wassers aufhört. Verringert sich die Strömung des Flusses an der Mündung in den See, so werden zuerst die gröbsten Blöcke liegen bleiben. Für feinere Bestandteile ist indes die Bewegung noch ausreichend, sie weiter in das Becken zu schleppen; die feinsten Partikelchen bleiben am längsten schwebend erhalten und kommen erst weit draußen im See zur Ruhe. Wir sehen, daß eine Sortierung des Materials eintreten muß. Darin finden wir eine Erklärung für die Entstehung von Schichten, die ausschließlich aus den feinsten Teilchen bestehen, die Tone und Mergel, für andere, die von gleichmäßig großen Quarzkörnchen aufgebaut werden, die Sandsteine, und für die Konglomerate, die von groben Geröllen zusammengesetzt werden.

In buntem Wechsel finden wir im Gebirge derart entstandene Schichten übereinander. Die Mannigfaltigkeit wird noch größer durch den Umstand, daß weitaus die meisten Schichtgesteine im Meere entstanden sind. Eingeschlossene Reste von Meerestieren, Versteinerungen, beweisen dies mit unumstößlicher Sicherheit. Ja, diese können mächtige Gesteinsbänke nur durch ihre Hartteile allein auftürmen. Die Korallen bauen hohe Riffe; mit ihnen vergesellschaften sich Muscheln, Schnecken, Seeigel, deren Schalen zusammen mit den Korallen erhalten bleiben. So können wir denn ein Bild reichsten Tierlebens im Meere mitten im Gebirge versteinert finden. Milliarden von mikroskopisch kleinen Organismenschälchen, aus Kalk oder Kieselsäure bestehend, sinken auf den Meeresboden und

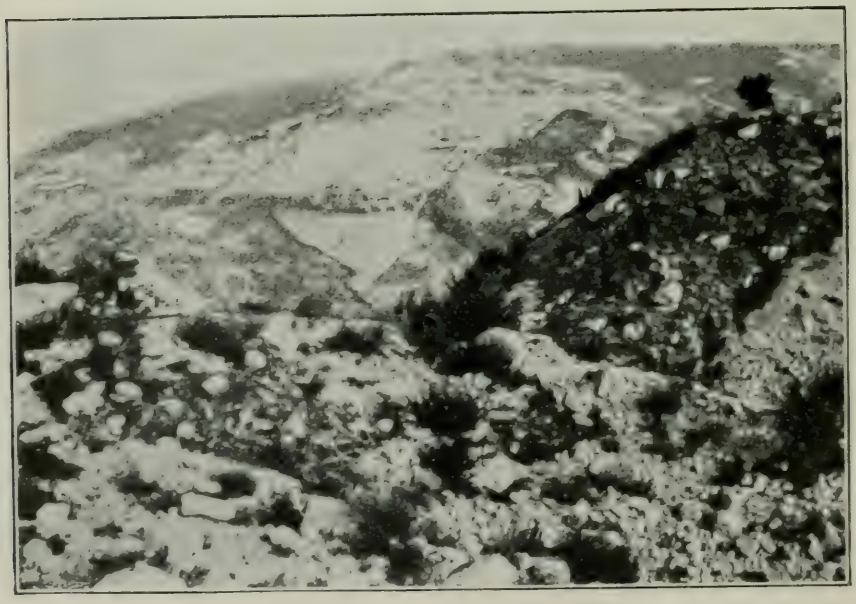
bedecken ihn als Schicht von weiter Ausbreitung. Wie dies heute geschieht, so geschah es, seit Meere die Erde bedecken. Und die Erde, die sich ständig verändert, die ihre Kruste in Runzeln legt, hebt diese Schichten durch rätselhafte Kräfte über das Meer, wölbt und faltet sie zu hohen Gebirgen auf. Verwitterung und fließende Wässer beginnen ihr Zerstörungswerk und enthüllen an den Bergen, den Ruinen einstmals geschlossener Schichttafeln, eine verschlungene, lange Geschichte. Sehen wir dann eine Folge der verschiedensten Schichten übereinander, so sehen wir gar oft, daß die Lagen nicht horizontal liegen, wie sie ursprünglich im Wasser abgesetzt wurden, sondern schräggestellt und verbogen worden sind. Wir werden uns diese Erscheinung leicht erklären können: denken wir, ein ausgebreitetes Tischtuch stelle eine Schicht dar, und schieben wir an einer Stelle einen Körper darunter, so wird das Tuch nach allen Seiten abfallen; die ursprünglich horizontale Fläche ist in Falten gelegt oder dacht sich wie ein breites Gewölbe nach allen Seiten hin ab. — Diese nachträglichen Veränderungen, die die Gesteine durch gebirgsbildende Kräfte erfahren haben, sind von so einschneidender Bedeutung für gewisse Vorgänge der Abtragung, daß wir sie wohl im Auge behalten müssen. Sie sind aber auch an den Gehängen unserer Alpentäler, wo diese in Schichtgesteine eingesenkt sind, in deutlichster und mit unglaublicher Mannigfaltigkeit wiederkehrender Weise zu sehen. An vielen Gebirgsstöcken, z. B. in den Zentralalpen, vermissen wir jedoch die Schichtung der Gesteine. Gleichartige Struktur, eine unregelmäßige Zerklüftung nach allen Richtungen zeichnet diese Massive aus. Und sieht

Tafel 12.

Brentagruppe (Südtirol). Bergsturztrümmer liegen auf allen weniger geneigten Absätzen unter den schwarzen Steilwänden (besonders gut ziemlich weit rechts oben zu sehen). Der Neuschnee hebt die Schichtung des Gebirges scharf hervor.

Tafel 13. Phot. Prof. Brückner.

Fisistock. Abrißnische des Bergsturzes von Kandersteg. In der dunklen Wand rechts ist das „Fallen" der Schichten sichtbar, auf dem beleuchteten Boden der Nische erkennen wir gut die glatten Schichtflächen.



Tafel 14. Phot. Dr. Götzinger.

Abrißnische der Lavini di San Marco vom Trümmerfeld aus (Südtirol). Der helle Strich auf der glatten Schichtfläche in der Mitte des Bildes ist Wasser.

man genau zu, so zeigt sich auch die Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung: eine ganze Anzahl von Mineralien, wie Feldspate, Quarz, Glimmer, Hornblende usw. (Silikate), oft in prächtigen Kristallen ausgeschieden, bilden ein gleichmäßig körniges Gefüge. Dies sind die Massengesteine. Wie die Laven der Vulkane sind sie aus feurigem Gesteinsfluß (Magma) entstanden. Die Massen entstammen dem Erdinnern und drangen zur Erdoberfläche, freilich, manchmal, ohne diese zu erreichen. Dann sind sie wie Fremdkörper innerhalb der Erdkruste steckengeblieben, unterirdisch erstarrt. Die Erstarrung, eine Folge der Abkühlung, ist mit Schrumpfung verbunden; die Gesteinsmasse hat geringeren Rauminhalt als das einst flüssige Magma. Durch die Zusammenziehung sind jene Klüfte und Risse entstanden, die das Gestein in unregelmäßige Trümmer spalten, die es völlig in Blöcke auflösen können, wenn erst die Verwitterung eingesetzt hat und ins Gesteinsinnere gedrungen ist (S. 5—11).

Noch eine dritte Gruppe von Gesteinen muß hier erwähnt werden: die kristallinen Schiefer, die als „Urgebirge" vielleicht die weitest verbreitete Gesteinsart darstellen. In den Alpen sind ja Gneis, Glimmerschiefer, Phyllit usw. Gesteine, die in den „Zentralpen" die höchsten Kämme unseres Hochgebirges aufbauen. Diese Gesteinsgruppe vereinigt in sich in merkwürdiger Weise Merkmale von Schicht- und Massengesteinen. Mit jenen haben sie eine Parallelstruktur, die Schieferung, gemein, mit diesen verbindet sie die Zusammensetzung aus Silikaten. Aus beiden Gesteinsarten sind die Schiefer auch entstanden. Vergegenwärtigen wir uns, welch enormen Druck viele

hundert Meter mächtige Schichten auf ihre Unterlage ausüben, welch ein Riesenschraubstock die Gesteine bei der Gebirgsfaltung zusammenpreßt, so werden wir uns wohl vorstellen können, daß die zu unterst liegenden Glieder der Gesteinskomplexe völlig zerquetscht werden. Dies um so eher, als nicht nur durch den Druck Wärme erzeugt wird, sondern die Gesteine in einer Tiefe unter der Erdoberfläche lagern, in der die Temperaturen schon sehr hoch sind. Jedenfalls genügen diese Wärme und dieser Druck, die sprödesten Gesteine plastisch zu machen! Die erlangte Parallelstruktur, die Schieferung, die das Gestein in feinste Splitter und Lagen zerteilen läßt, ist nun wieder für die Verwitterung ein Angriffspunkt ersten Ranges. So finden wir denn hier naturgemäß ein fruchtbares Feld für abtragende Tätigkeit jeder Art.

Der Steinschlag (S. 11) ist die der Hochregion eigene Form der Abtragung; fallen die Blöcke auch nur einzeln, so sind die Massen, die im Lauf der Jahrtausende zu Tal wandern, doch ungeheure. — Aber nicht immer beschränkt sich die Bewegung nur auf einzelne Trümmer. Die Erscheinung kann riesige Dimensionen annehmen, kann als Katastrophe die Alpentäler in furchtbarster Weise heimsuchen. Das sind dann die Bergstürze. Doch ehe wir sie des näheren beschreiben, wollen wir die

Bergschlipfe

betrachten, da sie noch manche Ähnlichkeit mit den Muren verknüpft und an ihnen der Mechanismus des Losbrechens vorzüglich studiert werden kann. Es handelt sich bei ihnen um die Bewegung loser Schutt- oder Geröll-

massen, oder aber auch weicher, leicht zerstörbarer Gesteine, die sich, wie wir sehen werden, bei ihrem Abwärtsgleiten in ein loses Haufwerk von Schutt verwandeln. Naturgemäß treten bei dieser mehr gleitenden Bewegung keine plötzlichen großen Felsstürze auf. Langsam, doch unaufhaltsam wandern die Schuttströme zu Tal. Dabei wird gleichwohl alles mitgerissen, was sich in den Weg stellt: Gebäude werden umgedrückt, Wälder geraten ins Schwanken, urbares Land wird unter dem Trümmerwerk erstickt. Menschenleben gehen selten zugrunde; ein Entkommen ist meist möglich, bewegliche Habe kann gerettet werden, wenn das Unheil nahe ist. So bedeutsam die Bergschlipfe im Haushalt der Natur als Abtragungserscheinung sind, so gewaltig die Veränderungen sind, die das Landschaftsbild erfährt, wenn in geschlossenem Strom so ungeheures Felsmaterial zu Tal wandert, so fehlt doch dem Vorgang das überraschend Schnelle. Deshalb schaltet ihn der Mensch meist von den „Katastrophen" aus. Aus den Beispielen, die die Ursachen der Bergschlipfe beleuchten sollen, werden wir immerhin entnehmen, daß die soziale Bedeutung der Bergrutsche nicht unterschätzt werden darf. In Eisenbahneinschnitten sinken die Hänge auf den Bahnkörper, Tunnelanlagen werden eingedrückt, Straßen und Verkehrswege werden zerstört. Das bewegte Terrain zur Ruhe zu bringen, kostet dann recht teure Anlagen, zumal das Gleiten immer wieder beginnt und Vermauerungen, Eintreiben von Pfählen die Bewegung wohl verlangsamen, aber nicht vollständig aufhalten können. Treten Regengüsse ein, die eine Durchweichung der Berghänge mit sich bringen, so beginnen — vorausgesetzt, daß das feste Material locker und schlüpfrig

genug ist — allerorts die Rutschungen. Die ersten Sommermonate des Jahres 1910 z. B. veranlaßten in den Niederösterreichischen Alpen eine ganze Reihe von Zerstörungen dieser Art. Ja in einem Fall (St. Anton, Reifgraben) wurde der Bach zu einem See gestaut, der den Anblick des Tales gänzlich umgestaltete. Eine wesentliche Vorbedingung für das Zustandekommen der Bergschlipfe geht daraus hervor: reichliches Vorhandensein von Wasser. Regen, Quellen, Schneeschmelze liefern es. Und so kommt es, daß an Gehängen, die aus schlüpfrigem Schutt, aus weichem Ton oder anderem gut gleitenden Material bestehen, im Frühjahr die Bewegungen mit neuer Kraft einsetzen; denn das Frühjahr bringt in den Alpen Wasserreichtum mit sich.

Gehen wir nun daran, einen solchen Bergschlipf im festen Gestein eingehender zu studieren. Unter den vielen beschriebenen Beispielen greife ich den von Mühlhausen in Baden heraus, der sich im Juli 1910 ereignete. Das ganze Gebiet gehört der „Keuperlandschaft" Südwestdeutschlands an. Der Keuper ist eine geologische Formation, deren Schichten aus Ton und Mergel in buntester Folge bestehen. Wandern wir nur einmal bei Regen über dies Land, dann merken wir, wie das weiche Gestein im Wasser zerfällt, wie sich schwere Klumpen an die Schuhe ansetzen, wie wir bei jedem Schritt wie auf einem Schmiermittel ausgleiten! Das Gestein ist wie dazu geschaffen, als durchweichter Schuttstrom an den Gehängen herabzukommen. Freilich fehlen in dem welligen Hügelland meist steile Böschungen. Aber bei Mühlhausen senken sich die rebenbestandenen Talflanken mit 30 Grad gegen den Wiesen-

grund; eine Neigung, die noch künstlich durch einen mehrere Meter hohen, steilwandigen Anschnitt vergrößert wurde. An ihn lehnen sich die Häuser der Ortschaft. Eine nähere Betrachtung des Gesteins ließ gleich hinter ihnen eine schmale Tonschicht erkennen, aus der kleine Quellen heraustraten (Wasserschicht, Quellhorizont). Berücksichtigen wir nun noch, daß die Schichten selbst gegen das Tal, gegen die Häuser geneigt sind, so haben wir an dieser einen Stelle die günstigsten Vorbedingungen für ein Ausgleiten der Gesteinsmassen vereinigt: weicher, leicht zerstörbarer Fels, der auf geneigter Tonunterlage ruht; diese ist durch Wasser durchfeuchtet, so daß eine glitschige Gleitfläche geschaffen war. Und dazu kommt noch die Steilheit der Gehänge! Der Vorgang spielte sich auch, angemessen den charakteristischen Vorbedingungen, in höchst charakteristischer Weise ab. Wir können uns schon vorstellen, daß die Bewegung auf der Tonschicht, die von den Umwohnern wegen ihrer mürben, schmierigen Beschaffenheit „Kässchicht" genannt wurde, vor sich ging. Auf ihr lösten sich auch wirklich die Gesteinsmassen los,

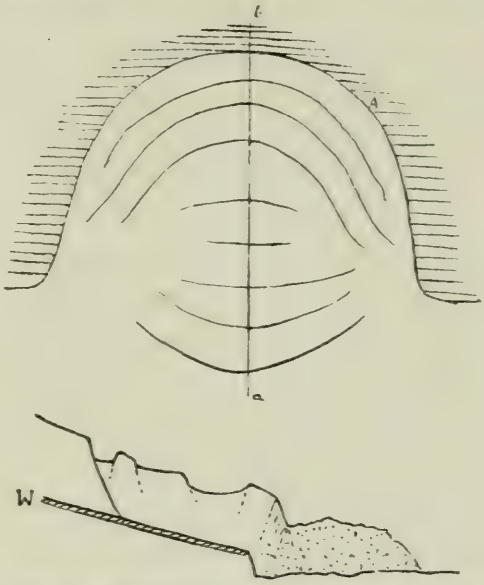


Abb. 6. Bergschlipf von Mühlhausen. Grundriß der Spaltenzüge in der Abrißnische. a—b Querschnitt, W Wasserschicht.

als heftige Regengüsse des Juli den äußeren Anstoß dazu gaben. — Nicht plötzlich trat die Katastrophe ein: schon Tage vorher konnte man bemerken, wie sich der Gesteinskörper über die Wasserschichte vorschob. Etwas später war die Bewegung schon mit freiem Auge wahrnehmbar. Freilich achtete niemand dieser Anzeichen! — Zu gleicher Zeit rissen oben am Gehänge Spalten auf, die sich erweiterten, je mehr sich die gleitende Masse den Häusern näherte (Tafel 10). Erst als diese erreicht waren, als schon Schindeln der Dächer durch das drängende Gestein verschoben wurden, dachte man an ein Retten und Fliehen. Da waren aber oben schon eine ganze Reihe klaffender Sprünge entstanden, durch die der innere Zusammenhang des Gesteins zerstört worden war. Dies verlor den letzten Halt und glitt rasch herab, die Häuser vor sich erdrückend. Die Linie, entlang der das Gestein abgerissen war, verläuft bogenförmig. Sie umsäumt eine Nische, die nach dem Ereignis durch steile, etwa 4 m hohe Wände gebildet wurde: die Ausrutschnische. In ihr liegt zusammengesunken ein Teil des abgeglittenen Materials, das in eine ganze Anzahl einzelner Schollen gegliedert worden ist (Tafel 11). Wie Stufen sinken an Spalten die Stücke talabwärts und lassen in ihrem Grundriß das System von Sprüngen erkennen, deren Verlauf uns über die verschiedene Schnelligkeit der Bewegung Aufschluß gibt. Innerhalb der Abrißnische (A) liegen die einzelnen Staffeln voneinander getrennt durch nach außen konkave Spalten, wie dies unser Querschnitt (a—b) erkennen läßt. Je weiter wir nach abwärts gehen, desto stärker ist auch die Zertrümmerung, die das Gestein erlitten hat. Die Zerreißung

geht natürlich im Bereich der größten Bewegung auch am weiteſten vor ſich. Erinnern wir uns nur der Verhältniſſe, die wir an Gletſchern gefunden haben (S. 27)! An der Öffnung der Niſche iſt das Geſtein in loſes Haufwerk aufgelöſt, das in der Mitte der Schuttzunge am raſcheſten abwärts glitt. Daher ſind die Wülſte, die trennenden Klüfte hier — im Gegenſatz zum Abrißgebiet — nach außen konvex gekrümmt.

Dieſe Züge wiederholen ſich immer wieder, nur iſt der Mechanismus der Bewegung nicht immer ſo leicht zu erkennen. Kehren wir nach unſerem Ausflug ins Mittelgebirge wieder in die Alpen zurück, ſo werden wir ſehen, wie tiefgreifend dieſe Art der Abtragung das Ausſehen einzelner Täler beeinflußt. Am deutlichſten wird auch hier ein Beiſpiel ſprechen. Es iſt dem Kanton Teſſin in der ſüdlichen Schweiz entnommen. Von alters her iſt dort das Maggiatal von Rutſchungen heimgeſucht, die oft eine Ausdehnung erlangten, daß ſie in Inſchriften und Chroniken vermerkt worden ſind.

In die gewaltigen Schieferberge ſind tiefe Täler eingeſenkt. In jäher Steilheit ſteigen die Hänge empor, durchfurcht von zahlloſen Runſen. Die weichen Schiefer (S. 65) bieten ja dem Waſſer ſo vortreffliche Angriffspunkte. Es kann uns alſo gar nicht wundern, daß dort die Abtragung tiefe Spuren in die Erdrinde gegraben hat. Sind doch die jähen Formen, die Täler und Schluchten ſelbſt ihr Ergebnis im großen. Wir aber ſuchen jetzt die kleinen Linien!

Große Trümmerſtröme wälzen ſich langſam auf den Ort Campo zu, deſſen Boden ſelbſt ſich nach abwärts bewegt.

Der Fluß Rovana schneidet in den Sockel, auf dessen Scheitel hoch über ihm die Häuser liegen. Stück um Stück bröckelt von der Terrasse ab, ja als geschlossener Körper sinkt sie samt den Häusern ganz langsam dem Flusse zu. Von oben aber legen sich auf sie noch die Felsmassen, die in ständigem Gleiten von Jahr zu Jahr vorschreiten. Vor diesen Strömen wird alles verschoben und erdrückt: Wege, Brücken, Mauern, und fruchtbarer Boden wird in erschreckender Weise verwüstet. Unaufhaltsam, aber langsam, kaum wahrnehmbar schreitet das Unheil vor, zugleich mit den großblockigen Wülsten. Wie wenn ein schäumender Gebirgsbach Wellen wirft, so bäumt sich das wilde Trümmerwerk in hohen Wällen, sobald die Bodenneigung größer und die Bewegung beschleunigt wird. In den Wannen und Gräben zwischen den Wülsten sickert trübes Schlammwasser hervor und steht in Tümpeln. Dies ist der Spender des unheimlichen Lebens. Quellen, die zum Teil zutage ausgehen, zum Teil aber das Trümmerwerk gänzlich durchnässen, ohne ans Licht zu kommen, wirken wie Triebfedern der Bewegung. Seit vielen Jahren schon dauert sie an; die Bäume der Wälder stehen schief und streben doch wieder, gerade zur Höhe zu wachsen. In bizarren Krümmungen ragen so die alten Stämme neben umgelegten jungen Bäumen. — Neben der enormen Durchnässung der Massen ist auch hier die Art und Lagerung der Gesteine maßgebend für das Zustandekommen der talwärts kriechenden Schuttströme. Die Schiefer neigen sich gegen das Tal. Wieder ist es also eine Art Schichtfläche, auf der die Bewegung stattfindet! Der anstehende Fels ist es, der sich

losgelöst hat, weil sein Gewicht zu groß war, auf geneigter, schlüpfriger Unterlage zu haften. Im Verlaufe der Bewegung löst sich die Gesteinsmasse in große und kleine Schollen auf, bis das wüste Blockwerk an der Zunge des Schuttstromes nicht mehr erkennen läßt, wie es entstanden sein könnte. In langen Zeiträumen ist dies geschehen, nicht von heute auf morgen. Und allenthalben sehen wir ähnliche Vorgänge, nur nicht in solcher Ausdehnung. Jedenfalls aber beherrschen sie bis zu einem gewissen Grade das Landschaftsbild. Denn in den Abrißnischen treten die kahlen Wände jäh hervor; unter ihnen ist der bewachsene Boden in rundliche Höcker und Wülste gestaut, von seiner Beweglichkeit zeugend. Nicht immer muß dabei die Vegetation vernichtet werden; die Bewegung ist ja mitunter eine überaus langsame. Menschenleben werden kaum bedroht, aber Menschenkultur geht in solchem Gebiete dem Ruin entgegen. Besonders gilt dies vom Maggiatal. Ja, fast möchte man als Voraussicht sagen, daß dies ganze Tal einer mählichen Verschüttung entgegengeht, besonders wenn wieder nässere Zeiten die Flanken der Berge rascherer Zerstörung und Abtragung entgegenführen.

In das Reich furchtbarer Naturgewalten begeben wir uns, wenn wir unser Augenmerk wieder auf die

Bergstürze

lenken. Einzelerscheinungen sind sie; einzeln wollen wir sie auch betrachten. Wir wollen versuchen, an konkreten Beispielen die Ursachen und Bedingungen kennen zu

lernen, die schlummernde Kräfte in so gewaltsamer Weise zum Erwachen bringen können.

„Bergstürze" soll nicht heißen, daß die Berge einstürzen, wenn auch ein solches Ereignis tatsächlich in Südtirol einmal eingetreten ist. Erscheinen uns auch die Felsmassen, die den Talboden überschütten, riesig groß, so sind sie doch im Verhältnis zur Größe des Berges, von dem sie losgebrochen, unendlich klein. Klein sind auch die Wunden, die durch das Losbrechen in die Felshänge geschlagen werden. Ja, wenn die Abrißnische wieder mit Vegetation überkleidet ist, ist es selbst für einen Kenner schwer, sie zu entdecken. Der einzelne Bergsturz verändert also das Landschaftsbild kaum, wohl aber gräbt die jahrtausendealte, immer wiederkehrende Erscheinung ihre Züge in das Relief der Gebirgswelt. Im südlichen Tirol, in der Brentagruppe, ist 1882 ein ganzer Berg zu Tal gestürzt. In ber Einöde geschah der merkwürdige Fall; deshalb blieb er lange unbekannt. Ein wohl 400 m hoher Felsturm, bizarr und kühn geschnitten wie die Spitzen dieses Gebirges überhaupt, geriet ins Wanken. Er schlug beim Sturz auf eine Felsbastion und der schneeweiße Kalkfels zerspratzte dabei in Milliarden kleiner Stücke, die nun wie Sandkörner nach allen Seiten stoben und über die Wände herabrieselten. Das aber ist nur eine Nachricht aus dem Gebiet; und doch — betrachten wir das Bild, das die formenschöne Brentagruppe gewährt (Tafel 12), so sehen wir allenthalben unter finsteren, drohenden Wänden die Trümmer der Felsstürze liegen. Und wir werden gewahr, daß wir vor einem Gebirge stehen, dessen wilde Schönheit, dessen jähe, hochgetürmte Gipfel das

Ergebnis fortdauernder Abtragung sind, und zwar zum großen Teil jener Form der Abtragung, die gleich ganze Felswände zur Tiefe führt: der Bergstürze. Vielleicht spricht aber dies Beispiel nicht deutlich genug, weil hier die Schichten der Sedimente fast horizontal liegen.

Gehen wir in Gegenden mit geneigten Gesteinsschichten, so überrascht uns in der Tat die Schärfe, mit der sich die dauernde Wirksamkeit dieser „Einzelerscheinung" ausprägt. Unser Weg führt über die Gemmi, von Kandersteg nach dem Rhonetal. Das Kandertal ist streckenweise ein „Längstal", d. h., sein Verlauf fällt in das Streichen der Schichten. Diese neigen sich also auf der einen Seite in das Tal und werden durch die andere Talflanke quer abgeschnitten (Tafel 13). In langen Plattenreihen und glatten, steil geneigten Flächen senken sich auf der Ostseite die Hänge zum Talboden: es sind Schichtflächen. Ständiges Ausbrechen und Ausgleiten auf glatter Schichtfläche hat nicht nur eine Reihe von Abrißnischen geschaffen, sondern die ganzen langhin gezogenen Wandfluchten, die mit etwa 30 Grad Neigung dem Talboden zusinken. Im nächsten Abschnitt lernen wir anläßlich der Katastrophe an der Altels dies charakteristische Landschaftsbild des näheren kennen (Tafel 29). Die enormen Massen von Trümmerwerk, die bei Kandersteg liegen, die an anderer Stelle den Öschinensee aufgedämmt haben, die allenthalben den Talboden überdecken, verraten uns, daß Bergstürze die Eigenart des Tales wesentlich mitbedingten. Wir ersehen ferner, daß die Berge durch die Abrißgebiete, die Täler durch die Anhäufung der Trümmer ihr landschaftliches Gepräge erfahren, und werden dazu geführt, wie bei allen Massen-

bewegungen im Gebirge, auch bei Felsstürzen ein Abriß- und ein Ablagerungsgebiet zu unterscheiden. Zwischen beiden liegt die Sturzbahn.

Die Ursachen, die den Sturz großer Felsmassen veranlassen, können recht mannigfacher Natur sein. Zu beachten bleibt, daß die Ursachen meist nicht unmittelbar zu erkennen sind. Sie reichen oft lange Zeit zurück und sind oft tief verborgen. Erst ein äußerer Anlaß, ein Impuls bringt die lange, vielleicht seit Jahrzehnten vorbereitete Katastrophe zur Auslösung. Nur das eine Allgemeine läßt sich sagen: der Schwere folgend, bricht eine Felspartie los, weil sie entweder unterhöhlt wurde oder weil sie auf toniger, durchweichter Unterlage den Halt verlor und ins Gleiten geriet. Da erinnern wir uns wieder des Bergrutsches von Mühlhausen! Bei geneigter Schichtlage, steilen Gehängen und dem Vorhandensein von Wasser können riesige Massen ins Wanken geraten. Darauf sind denn auch zwei Bergstürze zurückzuführen, die hohes Interesse verdienen, weil sie in historischer Zeit niedergingen. In Südtirol, bei Roveredo passiert die Bahn ein wüstes Trümmerfeld mitten im Etschtal. Es ist eine Hügellandschaft für sich, die im breiten Tal den Fuß des Monte Zugna umsäumt: die Lavini di San Marco (Tafel 14). In den Chroniken finden wir das Ereignis verzeichnet (IX. Jahrhundert). Weit ging der Ruf der Katastrophe, die die Etsch aufstaute, die Kaiserstraße nach Italien verschüttete, die Stadt Lagaris begrub. Selbst bei Dante lesen wir davon!

Kahle, glatte Felswände bilden heute die Hänge des Monte Zugna; es sind die Schichtflächen, auf denen die

mächtige Kalkplatte herabgeglitten ist. Als heller Strich markiert sich auf ihnen die Spur einer Quelle, die wohl den Sturz veranlaßt haben dürfte; wenigstens insofern, als sie eine schlüpfrige Bahn schuf. Noch heute werden die glatten Flächen von steilen Wandpartien umsäumt, über denen wieder kahle, doch schuttbedeckte Hänge folgen: ein typisches Bild einer Abrißnische.

Ähnliches erblicken wir am Nordfuß des Rigi bei Goldau in der Schweiz. Am 2. September 1806 wurde das Tal von der furchtbaren Katastrophe heimgesucht, die nicht weniger als 457 Menschenleben vernichtete. Ein Augenzeuge (Zaym) erzählt: „Das unterhalb gelegene Berggehänge fing an, sachte hinzugleiten. Mit einmal stürzt zu oberst an der größten Felswand ein mächtiges Stück nieder, die Felsen fangen langsam an, von ihrer Mutterschicht sich loszutrennen und gegen die Tiefe hinabzusinken. Das Erdreich am Berghang fängt nun auch an, sich voneinander zu schieben und statt der grünen Rasendecke die bräunlichschwarze Farbe nach außen zu kehren. Die unteren Wälder bewegen sich allgemach, und Tannenbäume in unzähliger Menge schwanken hin und her. Ganze Scharen von Vögeln lüften schnell ihre Flügel und richten unter Geschrei ihren Flug dem Rigi zu. Einzelne größere Steine rollen schon den Berg hinab .... als Vorboten der bald nacheilenden Masse. Nun wird mit einemmal die Bewegung der Wälder stärker; ganze Reihen der vorher losgewordenen und sich senkenden Felsstücke, ganze Reihen stolzer Tannen, auf der obersten Felskante sonst so prachtvoll ruhend, stürzen in Unordnung übereinander und in die Tiefe nieder. Alles

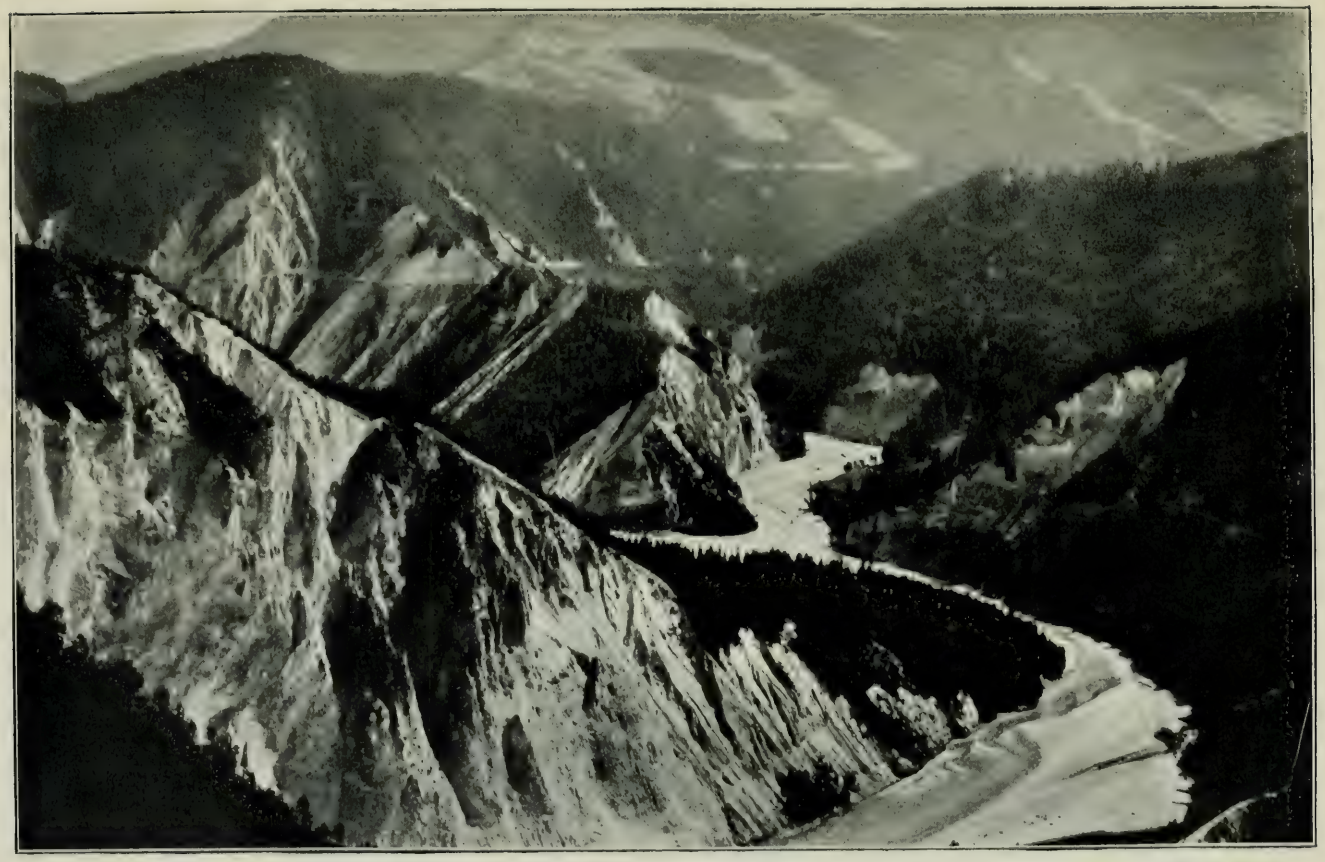
Losgerissene, Wald und Erde, Stein und Felswände, gerät jetzt ins Gleiten, dann in schnelleren Lauf und nun in blitzschnelles Hinstürzen. Getöse, Gekrach und Prasseln erfüllt wie tiefbrüllender Donner die Luft, erschüttert das Ohr und tönt im Widerhall von tausend Bergklüften noch gräßlicher. Ganze Strecken losgerissenen Erdreiches, Felsstücke so groß und noch größer als Häuser, ganze Reihen von Tannen werden aufrechtstehend durch die Luft geschleudert. Ein rötlichbrauner Staub erhebt sich in Nebelgestalt von der Erde, hüllt die zerstörende Lawine in trübes Dunkel ein und läuft als düstere Wolke, wie vom Sturmwind gepeitscht, vor ihr hin. Berg und Tal sind erschüttert, die Erde bebt, die Felsen zittern, Menschen erstarren beim Anblick dieser fürchterlichen Szenen. Vögel, im Fluge behindert, fallen auf die Stätte der Verheerung nieder, Häuser, Menschen, Vieh werden schneller als eine aus einer Kanone losgeschossene Kugel über die Erde hin und selbst durch die Luft fortgetrieben. Die aus ihrer Ruhe aufgeschreckte Flut des Lowerzer Sees bäumt sich auf und fängt im Sturmlauf auch ihre Verheerung an. Ein großer Teil der zerstörenden Massen erstürmt, im Tal angekommen, noch den jenseitigen steilen Fuß des Rigiberges, und einzelne Bäume und Felsstücke fliegen hoch am Abhang hinauf. Während der wenigen Augenblicke, in welchen der Leser diese Schilderung liest, in der Frist von 3—4 Minuten, hat das Ereignis begonnen und seinen Lauf vollendet." ☙ Die Ursachen liegen bei diesen beiden Ereignissen klar zutage; nichts aber wissen wir über den Impuls, der die langvorbereitete Spannung auslöste. Bei einem Berg-

ſturze aus alter Zeit jedoch kennen wir den Impuls ganz genau. Unerhörte Verheerungen mußte der Sturz am Dobratſch (Kärnten) angerichtet haben, denn in vielen Urkunden iſt von ihm die Rede. Zehn Dörfer ſind an der Südſeite der Villacher Alp verſchüttet worden! Die Urſachen waren kurz folgende: Schon in vorgeſchichtlicher Zeit waren gewaltige Felsmaſſen zur Tiefe gefahren und hinterließen ein ſtark gelockertes Gefüge. Der Fluß, der den Bergfuß beſpült, ſchuf überdies noch überſteile Hänge, ſo daß ein kleiner Anſtoß genügte, die Kataſtrophe ſich wiederholen zu laſſen. Dies geſchah im Jahre 1348: ein Erdbeben brachte den Fels abermals ins Wanken. Indes, hier handelt es ſich wohl um etwas Außergewöhnliches, wenigſtens ſoweit die Geſchichte zu berichten weiß. Viel näher liegend ſind meiſt die auslöſenden Vorgänge, die Impulſe. Wir finden häufig in verſtärkter Waſſerführung, durch Dauerregen hervorgerufen, jenes Moment, das den Augenblick des Losgehens eines Bergſturzes beſtimmt. Dann reißt gleichſam die letzte Faſer, die das durch jahrelange Lockerung zum Sturze vorbereitete Felsſtück gegen den Mutterberg heftet. So war es auch in Elm. Dieſe Kataſtrophe, die den genannten Ort am 11. September 1881 heimſuchte, wollen wir näher kennen lernen, denn Urſachen, Vorgang und Wirkung ſind bei keinem anderen Ereignis der Art ſo genau bekannt geworden!

Elm iſt das letzte Dorf des anmutigen Sernftales; die Schneeberge der Glarner Alpen lugen in den lieblichen Talgrund und umſchließen ihn von allen Seiten, mit Ausnahme gegen Norden. Im Süden erheben ſich ungemein

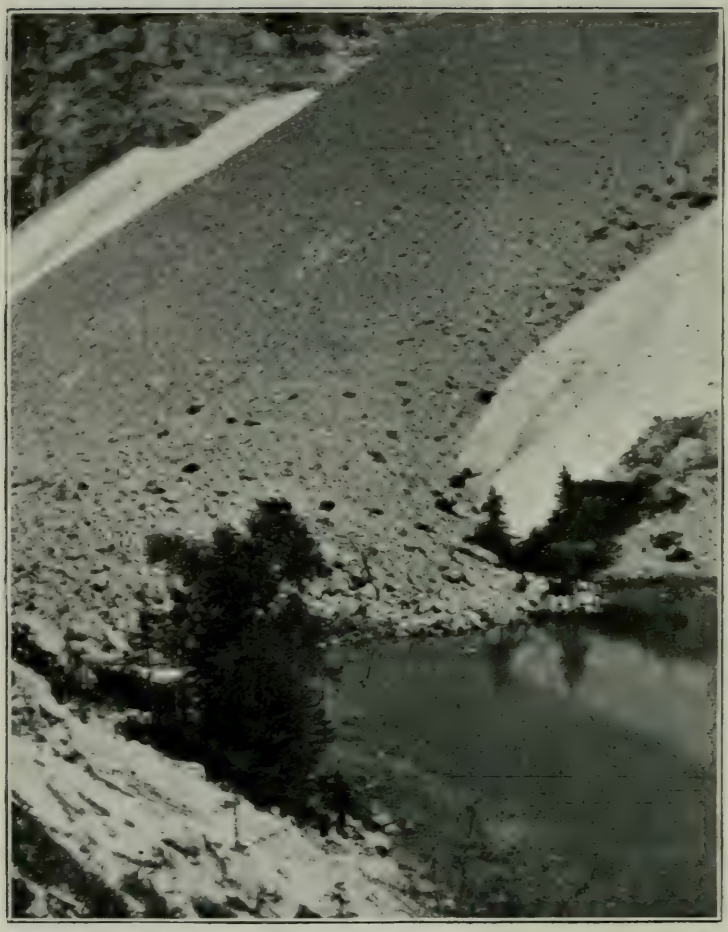
steil die Hänge der Tschingelalp zum Bündner Firn; ihr gegenüber streichen flachere Hänge, mattenbedeckt, ins Tal (Düniberg). Von hier aus führt durch tiefe Schlucht der Weg nach Süden zum Panixer Paß, den Suwarow in kühnem Zuge mit seinem Heere überschritt. In dieser reizvollen Umgebung ereignete sich an einem trüben, regnerischen Tag das Schauspiel von entsetzlicher Großartigkeit. „Eine ganze Felswand stürzte wie ein wütendes Ungetüm auf das liebliche Untertal von Elm und seine Bewohner, alles vor sich hinwegfegend, alles zermalmend." 115 Menschen sind erschlagen worden. Nur wenige Augenzeugen entrannen dem Untergang. Lassen wir zuerst sie erzählen.

Lehrer J. Wyß: „Ich stand in meinem Zimmer am offenen Fenster und schaute dem unaufhörlichen Steingerieſel am Tschingel mit der Uhr in der Hand, genau beobachtend zu. Nachdem über dem Plattenberg (ein Vorsprung der Tschingelalp mit Steinbrüchen) schon vormittags zwei größere Stellen mit Wald herausgebrochen waren, stürzten von 4 Uhr nachmittags an wieder größere Partien Terrain mit Wald. Alles dies kam aber nicht von der Höhe des Tschingels, sondern von Lagen unmittelbar über dem Schieferbruch her und fuhr nicht bis in die Talsohle.... Um 5¼ Uhr nun erfolgte der erste große Sturz, und zwar hinter, d. h. östlich vom Gemeindsschieferbruch, beim hinteren Plattenberg. Pfeilschnell stürzte eine gewaltige Steinmasse direkt der Tiefe zu in der Richtung gegen Gehren, füllte oben den hinteren Plattenberg aus, fuhr bis in die Talsohle herab, verschüttete das Bett des Tschingelbaches und auf der Land-



Tafel 15. Phot. Prof. Brückner.

Rheintal in den Schuttmassen des Flimser Bergsturzes. Man beachte die Rinnen — Spuren des Regenwassers — in den steilen Hängen der losen Schuttmassen.



Tafel 16. Phot. Dr. Götzinger.

Bergsturztrümmer, einen Bach stauend. Blaue Gumpe. Raintal bei Garmisch.

zunge zwischen Tschingelbach und Raminbach die dort befindlichen Gebäude .... Um 5 Uhr 32, also 17 Minuten später, kam *ein zweiter Sturz*. Derselbe löste sich unmittelbar über der Plattenbergwand, schoß ebenso schnell wie der erste in die Tiefe über die vom ersten Sturz zurückgelassene Schuttmasse weg, fuhr über den Raminbach hinüber ins Untertal und deckte die dortigen Güter und damit ohne Zweifel auch Häuser zu. Eine schwarzgraue Staubwolke hüllte die Unglücksstätte ein .... — Jetzt wurde ich unruhig und sah nicht mehr auf die Uhr. Nach meiner Schätzung aber dauerte es 4 Minuten, bis der dritte Sturz erfolgte. Ich sah die Masse von oben erst vertikal stürzen und dann von der Sohle des Plattenberges an horizontal hervorquellen, indem der untere und weiter vorstehende Teil des Berges durch den Druck des darauf herabfallenden oberen Teils herausgedrückt und in die Luft hinausgesprengt wurde. Ich hatte den Eindruck, die ungeheuren Schuttmassen müßten das ganze Tal ausfüllen. Sie schossen mit unglaublicher Schnelligkeit quer über das Untertal hin. Sie fuhren z. B. über das Erlenwäldchen am Untertalbach hinweg, so daß ich *unter ihnen* deutlich die Erlen sehen konnte. Plötzlich war's wieder ruhig geworden, der Schuttkegel lag da .... bis nahe an mein Haus und blieb, wie er war; nichts bewegte sich mehr ...." Das beobachtete Getöse war geringer, als man hätte meinen sollen. Auch der Windzug wurde auf den Seiten des Sturzes nicht verspürt, wohl aber vor seiner Stirne! Hören wir weiter: „Als gleich darauf der dritte Sturz erfolgte, sah ich in der Höhe des Tschingels die ganze Wand in Bewegung

und alles durcheinanderspielen. Und wie ich talabwärts blickte, sah ich die Häuser an der Landstraße gegen Müsli zu sich bewegen, wanken, auffahren, bevor die Masse da war .... Im Nu war auch die Wolke da. Sie kam rollend heran wie der Rauch einer abgeschossenen Kanone, aber schwarz, kaum zwei Häuser hoch ....

Mein Sohn Peter befand sich samt Frau und Kind im Müsli und suchte, mit ihnen laufend, zu entrinnen. Bei einer Mauer angelangt, nahm er seiner Gattin das fünfjährige Kind vom Rücken und sprang über die Mauer. Sich umwendend sah er noch, wie sie die Hand nach einem anderen, fremden Kind ausstreckte. Im gleichen Augenblick wurde er vom Windzug erfaßt, aufgehoben und die Wiese hinaufgetragen. Das war seine und des Kindes Rettung, die Frau aber wurde gleichzeitig unmittelbar hinter ihm erschlagen." (Heinrich Elmer.)

„Ich wurde vom Windzug zwei-, dreimal purzelbaumartig überworfen und rasch und leicht den Abhang hinaufgeschoben. Meiner Frau ging es ähnlich. Dicht hinter ihr schoß die Masse vorbei. So blieben wir beide am Leben. Unsere zwei Kinder aber wurden nahe bei uns, das Mädchen vor unseren Augen, zugedeckt." Auch von ferne haben Leute das Unheil geschaut und wissen davon zu berichten.

Matthias Rhyner: „Ich sah, wie beim Hauptsturz vom Untertal her voran die Dächer und hinter ihnen her die Häuser durch die Luft geflogen kamen gegen das Alpegli zu, gerade wie wenn der Sturm im Herbst zuerst das dürre Laub von den Bäumen fegt und alsdann die Bäume selber. Auch die nachstürzende Bergmasse kam durch die

Luft und wurde am Alpegli abgeschnellt. Ich sah unter der Wolke durch, wie Heinrich Elmer eine Kuh am Stricke führte und mit ihr .... rannte, um sie in Sicherheit zu bringen. Ich sah alsdann die Eschenleute in der Wolke verschwinden und im gleichen Augenblick auch die Häuser im Müsli wie Spielzeug zusammenbrechen .... Daß der Windzug die Richtung talabwärts nahm, erkannte ich an den niederfallenden Bäumen am Ufer des Sernf."

Ein Landjäger, Werner Freitag, hat das Abbrechen selbst gesehen: „Da bemerkten wir, daß im sog. Krut ein Bruch bis weit hinauf um sich griff. Wir sahen aus der Ferne die Tannen zusammenfallen und durch den Wald hinunter Riemen bloßgelegten Felsens sich bilden .... Die beiden riemenartigen, hoch über den Schieferbrüchen beginnenden Einschnitte kamen beim Plattenberg zusammen und bildeten eine Gabel, die ihren Schneidepunkt im Schieferbruch hatte und zwischen den beiden schrägen Schenkeln den ganzen Plattenbergkopf übriggelassen hatte. Es währte einige Minuten, so sahen wir alles das herabfahren, was zwischen der Gabel hängengeblieben war (Plattenbergkopf) .... Sofort bildete sich eine ungeheure rußschwarze Wolke."

Unter dumpfem Tosen und Krachen fuhr diese, wie vom Winde gejagt, über das Tal hinaus. Die ungeheure Schnelligkeit, mit der die scharfkantigen Schieferblöcke dahinfegten, erkennen wir an dem Zustand der glatt durchgeschlagenen Stämme hundertjähriger Tannen und dem Ergebnis der Leichenschau.

„Was mich bei ihrer Besichtigung am meisten traf, war der Ausdruck höchsten Entsetzens, der Todesangst und

Verzweiflung auf den Gesichtern derer, bei welchen man überhaupt noch ein Antlitz erkennen konnte. Die meisten waren bis zu gänzlicher Unkenntlichkeit entstellt, zerquetscht, zermalmt, verstümmelt in unsagbar schrecklicher Weise. Hier war einer der Beine oder Arme beraubt, dort einem anderen der halbe Kopf weggerissen, ein dritter war bei der Brust buchstäblich durchgeschnitten, wieder ein anderer so zerhackt, daß man kaum mehr erkannte, welche Teile zusammengehörten. Weit größer aber als die Zahl der noch einigermaßen vollständigen Leichname war die Summe der einzelnen Gliedmaßen und zerdrückten Fleischklumpen, die, von Sand und Staub bedeckt, aus der Schuttmasse hervorgezogen wurden .... Hier zu oberst auf diesem höchsten Punkt der Steinmasse wurde ein Menschenkopf gefunden, von anderweitigen Gliedmaßen war weit und breit nichts zu finden." (E. Buß.)

Doch verlassen wir die Stätte des Elends und suchen, nach den Berichten ein geschlossenes Bild von der Katastrophe zu gewinnen.

Eine 1000 m hohe Felswand ist in kurz aufeinanderfolgenden Stürzen zur Tiefe gefahren. Der letzte, größte von ihnen brachte das Unheil. Die ungeheuer schweren Felsmassen des Plattenbergkopfes, durch vorhergehende Abbrüche unterhöhlt, rissen an klaffenden Spalten los, an deren Saum die Bäume bei Beginn der Bewegung wie ein vom Wind aufgeregtes Ährenfeld wogten und wankten. In freiem Fall sausten die Blöcke hinab, die ganze Wand fiel zusammen und schlug am Fuße des Berges bei den Schieferbrüchen auf, um unter einer schweren Steinwolke, die hier entstand, den Talboden zu erreichen. Wie zer-

sprazte Wasserfluten stürzte die Masse nun mit ungeschwächter Wucht gegen den jenseitigen Berghang, brandete an ihm hoch auf und stürzte in sich zusammen. Von hier an bewegte sich die Steinlawine wie ein riesiger, geschlossener Strom im Tale abwärts. Der Sturmwind ging der Stirne dieser rasenden, trockenen Hochflut vorauf und mähte alles vor sich nieder. Hinter ihr folgte der Felstrümmerstrom. Das ist erstaunlich, daß sich diese trockenen Massen (erst später wurden sie durchtränkt durch die gestauten und durchsickernden Nebenbäche des Sernf) auf fast horizontaler Unterlage so weit, mit so unglaublicher Schnelligkeit fortbewegen konnten. Bei einem Rollen und Sichüberschlagen wäre dies kaum denkbar gewesen. Indes bot der durchweichte Ackerboden der Talsohle einen weichen, schlüpfrigen Grund, auf dem die Felstrümmer wie auf einer Schmiere gleiten konnten. Die ungeheure Wucht des Sturzes lieferte die lebendige Kraft für dies Gleiten. Damit hängt zusammen, daß der Strom scharf umgrenzt ist, daß keine Trümmer seitwärts geschleudert wurden, daß er durchaus das Bild eines Lavastromes bot. Im nächsten Abschnitt werden wir in den Grundlawinen dieselbe Bewegungsart und dieselbe davon abhängige äußere Form kennen lernen. Was im Bereich des Schuttstromes lag, wurde erbarmungslos und vollständig zermalmt, was dicht neben ihm war, blieb unversehrt!

Der weiche Untergrund wurde aufgepflügt; bis in große Tiefe arbeiteten sich die Felstrümmer ein, ja sie zerwühlten die Fundamente einer eisernen Brücke derart, daß sich diese in der Luft aufbäumte und zerbrach! In der weichen

Erde blieben die Massen schließlich stecken; fast ruckartig geschah es. Keine Bewegung verrieten sie mehr, obwohl der Sturz kaum so lange dauerte, als man braucht, um 100 Schritte weit zu laufen! Abbruch, Sturz und Felsstrom vollendeten ihren rasenden Lauf in dieser Zeitspanne.

Vorübergehend wurden die Bäche gestaut. Neue Angst verbreitete sich deshalb im Tal, denn ein Durchbruch mußte weite Verheerung mit sich bringen. Das Wasser jedoch fand selbst einen Ausweg, der ihm durch Hilfsarbeiten noch erleichtert wurde. Sonst aber, beim Sturze selbst, spielte das Wasser keine Rolle. Als echter Felssturz kamen die Massen herab. Daß sie sich lösten, ist zum guten Teil auf die Tätigkeit des Menschen zurückzuführen.

Der Tschingelberg besteht wenigstens in seinem unteren Teil aus Schiefern, die nach dem Berginnern, also nach Süden geneigt sind. Das Material war gesucht zum Herstellen von Schiefertafeln und Griffeln. Steinbrüche werden am Plattenbergkopf seit langem betrieben. Die Brüche gewannen im Laufe der Zeit an Ausdehnung und unterhöhlten den Berg derart, daß unter den überhängenden Felsen oft mehrere Hütten hätten Platz finden können. Die von Natur steilen Berghänge wurden durch die künstlich geschlagene Wunde übersteil, das Gesteinsgefüge durch fortgesetztes Sprengen noch dazu gelockert. Bald machten sich die Folgen bemerkbar! Die überhängende Felsdecke bewegte sich ständig vorwärts und brach mehrfach ein; auch Arbeiter sind wiederholt im Bruche erschlagen worden. Hier und da klafften Spalten, aus denen Wasser sickerte.

Oben am Berg drang dies in stets breiter werdenden Klüften in das Innere der Felsen. Niemand achtete der Vorzeichen. Ja, als die Brüche wegen zu drohender Gefahr verlassen wurden und eine Kommission eine Untersuchung durchzuführen hatte, lautete der Bescheid, daß ein Abbruch wohl einmal zu gewärtigen sei, daß aber gegenwärtig nichts zu tun bleibe. Nur wenige erkannten die Gefahr, als sie breite Spalten sich erweitern sahen, die im Walde aufrissen und die ganze Masse des Berges umsäumten. Selbst als der erste große Sturz nach einer ganzen Anzahl kleiner Abbrüche am 11. September niedergegangen war, floh niemand! Alle Warnungen, die die Natur selbst ergehen ließ, verhallten ungehört. Wie kann es dann wundernehmen, daß die Zahl der Opfer so erschreckend hoch ausfiel?

Zehn Millionen Kubikmeter Fels lösten sich an beliebiger Kluft, unabhängig von Schichtung und Schieferung, los und stellten das gestörte Gleichgewicht durch ihren Sturz wieder her. Darin haben wir die Ursache der Katastrophe zu erblicken: jedes Gestein vermag nach seiner Zusammensetzung und Lagerung nur eine bestimmte, größtmögliche Böschung zu bilden (S. 13). Wird diese überschritten, so bröckelt der Fels, der Schwere folgend, ab. Verwitterung und Talbildung fördern seit undenklichen Zeiten diesen Zerstörungsprozeß, dessen Wirken zwar dem Menschen entgeht, der aber doch das Relief von Berg und Tal geschaffen hat. Steigert sich der Vorgang bis zum Losreißen großer Felsmassen, so sprechen wir von Bergstürzen. Unauslöschlich prägen sich diese der Erinnerung des Menschen ein, dem sie als etwas Gewaltiges erscheinen. Und

doch, wie rasch verschwinden die Spuren des einzelnen Phänomens im Laufe der Zeit! Die Abrißstelle wird wieder mit einem Pflanzenkleide überzogen; sie vernarbt, daß niemand mehr die Wunde erkennen kann. Die losen Trümmer fallen der rastlosen Tätigkeit des fließenden Wassers anheim und werden mählich dem Meere zugeführt. Freilich vergehen darüber Menschengeschlechter. In der Geschichte der Erde ist es nur ein Augenblick, eine Episode!

Folgen wir einmal dem Rheintal aufwärts, so scheint das Tal mit einem Male durch hohe Waldhügel abgedämmt. Es sind Schuttberge, auf deren Rücken wir einzelne kleine Seen aufgedämmt sehen: Reste eines riesengroßen Bergsturzes, durch dessen Trümmer der Rhein in tiefer Schlucht sein Bett gegraben hat. Fünfzehnhundertmal größer ist die Masse dieses Sturzes als die von Elm! Der Rhein nagt an den lockeren Steilwänden, kleine Muren gehen über sie herab, die Schlucht stets vergrößernd (Tafel 15). Gleiches geht an den Nebenflüssen vor sich, so daß wir den Schuttkegel des vorgeschichtlichen Bergsturzes von Flims schon zerfressen, aufgelöst sehen (sog. Toma). Schließlich wird er ganz verschwinden.

Vergänglich wie das Gebirge selbst sind die Spuren, die ihm durch gewalttätige Vorgänge eingegraben werden. Von Bestand sind sie nur, wenn wir sie nach menschlichem Ermessen beurteilen. Und da treten uns denn allenthalben charakteristische Züge entgegen, „dauernde Wirkungen der Bergstürze," die wir mit den zu Beginn des Abschnittes angedeuteten vereinen können.

Zu den auffälligsten gehören die Stauseen (Tafel 16). Recht vergänglicher Natur sind sie meist. Die Aflenz, 1892

durch einen Bergſturz am Arlberg (bei Langen) zum See geſtaut, brach gleich durch und führte als mächtige Mure den feinen Geſteinsſtaub, die geſchrammten und zerſchlagenen Blöcke über fruchtbares Land. — Dieſer Ausgang iſt nicht ſtets zu befürchten. Das lockere Schuttwerk, zwiſchen deſſen ſplitterigen, eckigen Blöcken viele Hohlräume umſchloſſen ſind, wird durchtränkt; das Waſſer ſickert durch, wühlt ſich allmählich einen Ausweg, den das zuſammenrutſchende, ausweichende Material mit der Zeit vergrößert.

Es beſteht aber auch die Möglichkeit, daß der See als ſolcher erhalten bleibt. Eine ganze Anzahl unſerer Alpenſeen iſt durch Bergſturzmaterial aufgeſtaut worden. Ich erinnere nur an den Allegheſee, umgeben von großartiger Dolomitenwelt, den Loppio- und Molvenoſee im ſonnigen Südtirol, den Eibſee am Nordfuß der Zugſpitze. Das berühmteſte Beiſpiel jedoch, das auch deshalb Intereſſe verdient, weil ſein Werden und Schickſal beobachtet worden iſt, findet ſich im Himalaja: der Gohnaſee in Garhwal (Tafel 17). Tiefer als unſere Alpentäler ſchneiden ſteilwandige Schluchten in das höchſte Gebirge der Erde. Jäh, bis über 4000 m Höhe bewaldet, ſtreichen die Hänge zu den Gebirgskämmen empor. Im engen Tal iſt kaum Raum für den toſenden Strom und einen Verkehrsweg.

Heftige Regengüſſe des Winters 1893 löſten im Birahi-Ganga-Tal die gelockerten Felsmaſſen, die ſich nun als 400 m hoher Damm über das Tal legten. Die Verwaltungsbehörden organiſierten ſogleich einen Nachrichtendienſt, der Warnung erteilen ſollte, wenn das Waſſerbecken zum Überfließen käme. Schutzbauten wurden er-

richtet, alle Vorkehrungen getroffen, die erwarteten Verheerungen möglichst einzuschränken. Freilich machte sich dann der endliche Durchbruch doch auf viele hundert Kilometer fühlbar: Straßen, Brücken, Kulturland wurden selbst noch im Gangestal zerstört. Doch Menschenleben waren nicht zu beklagen!

Kurz vor dem Überfließen hatte der See eine Länge von 7 km und eine Tiefe von 400 m. Das Wasser begann den Damm zu durchtränken, so daß an seiner Außenseite Rutschungen und Muren abgingen. Das Auslaufen ward so vorbereitet, und es begann im Sommer 1894. Rasch riß sich eine tiefe Schlucht durch das feine lockere Schuttwerk: als tobende Sturmwelle von 50 m Tiefe brach sich das Wasser Bahn. Doch als der Seespiegel mehr als 100 m gefallen war, kamen im Damme abgestürzte Kalkblöcke zum Vorschein, die, zu gigantischer Mauer aufgetürmt, dem Abfließen Halt geboten (einzelne dieser Blöcke wurden auf mehr denn 1000 t = 1000000 kg geschätzt). So blieb denn ein langgestreckter, tiefer See zurück, an dessen Ufern fruchtbare, terrassierte Felder die Stelle ertränkter Wälder einnehmen (Tafel 18). —

Lenken wir zum Schluß noch einmal unsere Blicke auf das Wesen der Bergstürze, um ihre Bedeutung für die Abtragung des Gebirges richtig zu würdigen, so müssen wir uns vor allem vor Augen halten, daß sie nur die örtlich begrenzte, örtlich zu enormer Kraftleistung gesteigerte Äußerung der Hochgebirgsabtragung, des Steinschlages, sind.

Wir lassen vor uns die Felsruine der Cinque Torri in den Dolomiten erstehen (Tafel 19). Arg zerklüftet stehen die

Kalkwände aufrecht und lugen, trümmerumsäumt, hinaus über die waldigen, sanfteren Hänge des Ampezzotales. Sie sind die winzigen Reste einer einstmals weit ausgedehnten Kalktafel. An anderen Bergen der weiteren Umgebung sehen wir dieselben Schichten wieder auftauchen, getrennt von den „Fünf Türmen" durch breite Täler. Dort wie hier beobachten wir unter den harten Kalkschichten weiche Gesteine, reich an Ton, die die breiten Rücken und Hänge am Fuß der jähen Dolomitgestalten zusammensetzen. Wie konnte es kommen, daß die mächtige Kalkplatte so zerstört wurde, daß sie heute nur noch als einsamer Pfeiler erhalten blieb? Durch den zerklüfteten Kalk dringen die Tageswässer zu den weichen, unterlagernden Schichten und durchnässen sie. Am Rande der ursprünglichen Felstafel gaben diese schlüpfrig gewordenen Gesteine unter den Kalken nach. Hier entstand eine Rutschung, dort kam eine kleine Masse herab. An unzähligen Stellen wurde so der Rand der Kalktafel unterhöhlt. Sie bröckelte nach. In unzähligen großen und kleinen Bergstürzen, deren Spuren heute verwischt sind, kam der Fels herunter, die Tafel ständig verkleinernd. Hier ging das Nachbrechen rascher vor sich als dort, hier sammelten sich in Furchen die Wässer und nagten in steter Minierarbeit am Fuße der Wände. Täler fraßen sich ein in die Kalktafel; diese selbst wurde dadurch in eine ganze Anzahl kleinerer, voneinander getrennter Tafeln zergliedert. Weiter geht die Gliederung, weiter das Abbröckeln und Kleinerwerden der Kalktafeln. Denn nun schnitten die Regenwasser auch in den Tälern Furchen ein. Diese griffen, durch die nachrutschenden, weichen Schichten vergrößert, bis an den

Fuß der Kalkwände hinauf, stets neues Ausbrechen, Abbröckeln, neue Bergstürze verursachend. — Jetzt hat die Abtragung das formenschöne Bild geschaffen: schroffe, einsame Zacken, willkommene Übungsplätze für Kletterer. An ihrem Fuß liegen noch die Trümmer der zuletzt gestürzten Felsen. Das Ganze in Auflösung begriffen, das Ganze eine Ruine! Von dieser Hochwarte streichen begrünte, tiefer unten bewaldete Hänge in die fruchtbaren Täler: die leicht zerstörbaren Schichten bilden den breiten, von Gräben durchzogenen, zertalten Sockel. Ringsum schaut unser Auge hinab in leuchtendes Grün, darüber auf die kühnen Felsgestalten der Dolomiten in weißen oder gelben Panzern. Dies ganze Bild farben- und formenreicher Schönheit ist eine Schöpfung der Gebirgsabtragung!

Lawinen.

Zu den bekanntesten Katastrophen des Hochgebirges gehören die Lawinen. Untrennbar sind sie in der Vorstellung eines jeden mit der wilden Romantik der Bergwelt verknüpft. Das hat seine Gründe: einmal gehört dies Phänomen durch seine Abhängigkeit von der Natur des Hochgebirges tatsächlich zu den häufigsten, immer wiederkehrenden Ereignissen, die stets aufs neue Aufmerksamkeit und Bewunderung auf sich lenken. Und dann sind die Lawinen in wirtschaftlicher Hinsicht hochbedeutsam. Viel ist darum über ihr Wesen, ihren Verbau geschrieben worden, vornehmlich in forstwirtschaftlichen Zeitschriften; denn die Forstschäden sind es vor allen Dingen, die zu einem Verbau auffordern mußten.

Diese Seite ist es aber nicht, die hier zunächst unser Interesse fesselt. Die Bedeutung der Lawinen als Formengestalter im Hochgebirge werden und wollen wir würdigen, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß auch sie eine Art des Massentransportes zur Tiefe sind. Auch sie haben teil an den abtragenden Vorgängen, die dem Gebirge sein Relief geben.

Über der Schneegrenze bleibt stets ein Teil des Winterschnees liegen, den die Sommerwärme nicht bewältigen kann. Jahr für Jahr sammeln sich die Schneereste an,

bilden bald eine geschlossene, mächtige Masse, deren Wachstum ohne Beschränkung weiterginge, stellte die Natur nicht selbst wieder das Gleichgewicht her. Die eigene Last der vielen Schneeschichten ist es, die den Ausgleich herbeiführt. Und zwar geschieht dies in zwei Formen. Die eine haben wir kennen gelernt: die Gletscher (S. 25). An steilen Gehängen können sich aber Schneemassen nicht lange genug halten; sie geraten unter ihrem eigenen Gewicht ins Gleiten. Rasch überstürzen sich die Schneekaskaden: die Lawine donnert zur Tiefe. Dies ist die zweite Art, wie die Natur gleichsam zur Selbsthilfe greift, um nicht die Gebirge unter tiefem Schnee- und Eismantel gänzlich begraben zu lassen. Durch Gletscher und Lawinen wird winterlicher Schnee in Regionen geschafft, in denen Wärme genug ist, den Überfluß zu schmelzen. Bei beiden Arten der Bewegung zu Tal ist, wie bei jedem Abtragungsvorgang, das Gesetz der Schwere der treibende Faktor. Rinnendes Wasser, zähe Gletscherströme, verheerende Muren, krachende Lawinen, sie alle sind ein Ausdruck hierfür. — Noch weiter geht die Ähnlichkeit der Lawinen mit uns bekannten Erscheinungen! Bei allen Bewegungen auf dem festen Land, wie bei Flüssen, Bergstürzen, Steinschlag und anderen mehr, können wir das Gebiet, in dem sich einer dieser Vorgänge abspielt, in mehrere Teile gliedern, die eine verschiedene Rolle spielen. Erinnern wir uns nur der Wildbäche, die im Sammeltrichter Wasser und Schutt zusammenraffen, diese durch den Tobel hinabwälzen, die Massen schließlich auf dem Schwemmkegel ablagern. Auch für die Lawinen unterscheiden wir ein Sammel- oder Nährgebiet,

einen Abfluß oder die Sturzbahn und ein Gebiet der Ablagerung. Diese drei Hauptmomente bestimmen das Wesen der Lawinen, sind maßgebend für ihre Wirksamkeit und ihre Verbreitung. Kann doch die Ernährung durch die Schneeregion nicht in einer Höhe liegen, die unter der Schneegrenze hinzieht. Wandert im Winter die Schneegrenze bis in die Täler herab, so ergibt sich daraus unmittelbar nicht nur der räumliche, sondern auch der zeitliche Verbreitungsbezirk der Lawinen, denn mit der Schneegrenze wandert das „Nährgebiet".

Reisen wir an einem Tautage des ersten Frühlings ins Gebirge, so ermessen wir am besten, daß die Lawinen eine universelle Erscheinung des Hochgebirges sind, daß sie zur Charakteristik jedes einzelnen Tales, des gesamten Gebirges gehören. Von allen Hängen stäuben sie herab, aus allen Schluchten hört man sie donnern, von allen Seiten tönt das Echo. Wie Wasserfälle fegen sie über die steilen Flanken der Berge, hundertfältig zerteilt in blendend weiße Silberfäden, und brechen mit elementarer Gewalt in die Wälder. Es ist, als schüttelte die Bergwelt das Winterkleid ab, als drängte die Natur gewaltsam aus den eisigen Banden.

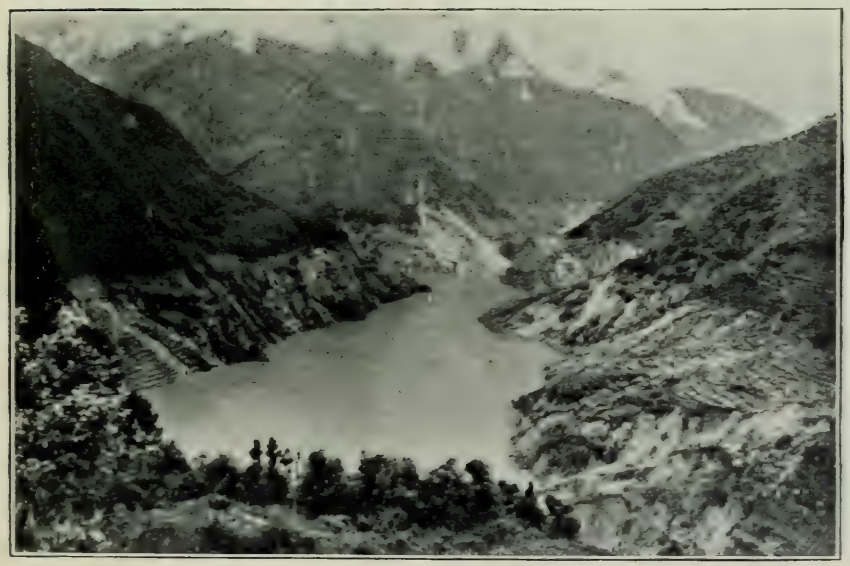
„Die Lawine gewährte während ihres ganzen Fluges ein wahrhaft großartiges Schauspiel. Als sie losgegangen war, sah es aus, als ob der halbe Berg, in Schnee aufgelöst, herunterkäme. In der Mitte ergoß sich wie ein ungeheurer Wasserfall der Hauptstrom der stürzenden Schneemassen; rechts und links wirbelten, als wollten sie sich ablösen und selbständige Ströme bilden, einzelne kleinere Wolken blendenden Schneestaubs auf und versanken dann

wieder in der großen Masse. In die am weitesten ausgeworfenen Schwaden schien die Sonne und zeichnete helleuchtende, rotierende, beständig sich verändernde Ringe in die wogende weiße Masse hinein. Der Boden zitterte wie bei einem Erdbeben, und das Krachen und Dröhnen vom Aufschlagen der Schneemassen auf die Felsen war ohrbetäubend. Als nach vielleicht 40 Sekunden der Hauptstrom unten angelangt war, nur noch kleinere Massen nachstürzten und die Hauptmasse horizontal über die Weidegelände dahinschoß, nahm das Geräusch mehr und mehr den Ton eines grollenden fernen Donners an; dann kam es dumpf verhallend allmählich ganz zur Ruhe." (Glärnisch-Lawine; Dr. Coaz.) 1750 m stürzte der Schneestrom ab und brandete am jenseitigen Gehänge an, derart, daß durch die abgeprallten, hoch sich bäumenden Schneewolken der Himmel verdunkelt wurde und der Schnee in rückläufiger Bewegung gleichsam als zweite Lawine vom Hange der anderen Talseite niederging. Nach 6—8 Minuten kam das Phänomen zur Ruhe.

Mannigfacher Art sind die Erscheinungen; wir wollen nun versuchen, sie und ihre Ursachen kennen zu lernen. Studieren wir die Einzelheiten an einem Hang eines Hochtales (s. Tafel 5), so sehen wir eine ganze Anzahl von seichten Rissen in ihn eingesenkt, die in großer Steilheit zur Höhe ziehen und die Bergflanken auf das feinste modellieren. In zahllosen Furchen ziehen sie durch die Wälder, verästeln sich hoch oben und ragen bis in die Region ewigen Schnees empor. Das sind die „Lawinenzüge". Die Verwitterung meißelt zuerst ihre Spuren in die Berghänge, Regenwasser greifen weiter an und schaffen Rinnen,

Tafel 17. Survey of India.

Abrißnische (links oben) **und Sturzmassen im Gangatal,** den Gohnasee aufstauend. Im Vordergrund das trockene Tal.



Tafel 18. Survey of India.

Gohnasee nach dem Durchbruch, terrassierte Felder an Stelle des ertränkten Waldes.

Tafel 19.

Phot. Dr. Michaelsen.

Cinque Torri bei Cortina d'Ampezzo. Reste einer Kalktafel auf weichen Gesteinsschichten. Rings um die Türme häufen sich Trümmer abgestürzter Felsmassen. Links vom größten Turm ist ein kleiner Zacken ganz in sich zusammengebrochen. Die weichen Schichten setzen die sanften Wiesenhänge des Vordergrundes zusammen.

Tafel 20.

Lawinenfurchen in der Königswand. Königsspitze (Ortlergruppe).

die an das Grundrißbild eines Wildbachbettes, eines Sammeltrichters erinnern. Von den Seiten, von oben bröckelt Verwitterungsschutt nach, stets zu einer Vergrößerung dieses ungemein steilen „Talsystems" Anlaß gebend. Als Steinschlag pfeifen die Trümmer im Sommer durch die Runse. Kleine Wildbäche können sich hier bei Gewitterregen entwickeln. Das sind die Bahnen der Lawinen, die Geleise, die durch Steinschlag und Wasser ausgearbeitet werden und im Winter dem Schnee zur Talfahrt dienen. Wie das Wasser die Gesteinstrümmer zur Tiefe reißt, so ist auch die Lawine mit Schutt, Erde, Stücken der Vegetationsdecke beladen und breitet alles am Ausgang der Furche auf dem „Lawinenkegel" aus. Vergeht der Schnee im Sommer, so bleiben doch die Fremdkörper liegen und häufen mählich einen Schuttkegel am unteren Ende des Lawinenzuges an. So hat denn jede Rinne, sei sie noch so klein, sei sie noch so steil in nackten Fels eingesägt, am Ausgang ihren Kegel loser Trümmer. In allen Größenordnungen begleiten sie die Flanken der Täler. Nicht nur hier verfolgen wir diese überaus charakteristischen Formen, sondern auch in großer Höhe, im Gebiet des Firns. Gehört doch ein großer Teil aller abgehenden Lawinen der Hochregion allein an! Ständig fegen sie über die Steilwände und eisigen Hänge und graben ihre Bahnen ein. Dann entsteht an den Bergen eine feine Ziselierung (Tafel 20), eine Furchung, die dem Alpinisten gar wohl bekannt ist. Das Überqueren der Lawinenzüge dort oben ist mit manchen Schwierigkeiten und Gefahren verbunden! Auch die Königswand, die unser Bild zeigt, gehört zu den schwierigen

Hochtouren in den Alpen. — Betrachten wir das Bild, das in glücklicher Weise den Augenblick des Abgehens einer Lawine festhält, so überrascht uns die Ähnlichkeit mit einem Wasserfall (Tafel 21). In der Tat gleicht die Bewegung auch in physikalischer Hinsicht dem Fließen. Das einzelne Teilchen in der Lawine kann sich nicht frei bewegen: es stößt stets an seine Nachbarn, teilt diesen seine lebendige Kraft mit, wirkt als Impuls. Es entsteht ein gemeinsames Strömen, vergleichbar dem Rieseln feinen Sandes, ein Strömen, bei dem sich die Masse wie ein plastischer Körper der Unterlage anpaßt. Wie eine Flüssigkeit suchen die „periodischen Schneeströme" (Lawinen) die Vertiefungen im Gelände auf. Wie Sturzbäche fließen sie in Furchen zu Tal. Und doch besteht im äußeren Anblick der Lawinen eine Verschiedenheit, die in der Beschaffenheit des Schnees ihre Erklärung findet. Oft sehen wir des Winters an den Kämmen der Berge weiße Fetzen hängen, die sich wie Wolken ausnehmen. Im Tale unten herrscht Windstille, prächtig lauer Sonnenschein. Die Fahnen in der Höhe verraten indes, daß dort oben eisiger Sturm weht, der den Schneestaub mit sich reißt und als „Schneefahnen" verschleppt. Auch sie sind Lawinen, eine Form, die zu den Staublawinen gehört.

Staublawinen sind im allgemeinen auf den Winter beschränkt. Nur in der Hochregion können sie auch des Sommers niedergehen, wenn starker Schneefall eingetreten ist und bei großer Kälte Pulverschnee die Berge überzuckert. An windstillen Tagen sammelt er sich dann in Nischen, an abschüssigen Stellen, auf denen sich der Neuschnee nicht lange halten kann. Die Schwere zieht ihn

nach abwärts. Ein kleiner Impuls genügt, die Masse in Bewegung zu setzen. Ja, eine Lufterschütterung, hervorgerufen etwa durch den Glockenschlag im Tal, durch einen Schuß oder den Tritt eines kleinen Tieres löst die vorbereitete Katastrophe aus. Auf engem Fleck beginnt der trockene Schneepuder zu rieseln; mit Macht greift die Bewegung um sich, es beginnt die ganze flimmernde Lage zu fließen, zu stäuben, als hätte ein Windstoß sie aufgewirbelt. Wie ein gewaltiger Sturzbach braust und donnert die ins Ungeheure gewachsene Schneewolke zu Tal. Die Luft wird mitgerissen, vor der Wolke einhergejagt: ein verheerender Windstoß fährt vor der Lawine dahin. Nicht der Schnee ist es hier, der Verwüstung bringt, die Luftwelle wirft alles vor sich um (vgl. Tafel 30). Ein Teil der Massen bleibt am Fuße des Berges liegen, ein anderer Teil verhüllt in weiter Ausbreitung das Gelände, alles mit feinem Schnee bestäubend. Darüber hinaus fährt der Wind, belastet mit Pulverschnee, der alle Fugen der Gebäude, selbst die Kleidung durchdringt. Und häufig findet er erst am jenseitigen Gehänge einen Widerstand. Er prallt gegen den Hochwald und fegt in ihn eine mächtige Bresche.

Trockener Pulverschnee kann nur bei Kälte entstehen. So erklärt es sich denn, daß Staublawinen im Gebiete menschlicher Kultur und des Waldes nur im Winter niedergehen können. Es ist jedoch schon darauf hingewiesen worden, daß in der Hochregion auch in warmer Jahreszeit diese Art der Lawinen häufig ist. Über der Schneegrenze herrscht ja ständig eine Temperatur, die sich im allgemeinen nicht wesentlich vom Gefrierpunkt entfernt.

Nicht nur daß die Gletscher und Firnfelder eine ständige Speisung durch die Lawinen erfahren: diese führen auch stets Verwitterungsschutt mit sich zur Tiefe. Da die Lawinen des Firngebietes auch eine universelle Erscheinung sind, gewinnen sie als Faktoren der Gebirgsabtragung eine hervorragende Bedeutung. Sie sind deshalb mit dem rieselnden Wasser, ihre Tätigkeit mit der Denudation verglichen worden (S. 14).

Anders die Grundlawine. Sie ist der Mure ähnlich. Wie diese auf zwar beschränktem Gebiet eine enorme Kraftsteigerung, eine verhängnisvolle Leistungsfähigkeit, feste Massen zu transportieren, entfaltet, aber in ihrer dauernden Wirkung weit hinter dem fließenden Wasser zurückbleibt, so ist auch das Ausmaß der Zerstörung durch eine Grundlawine zwar beträchtlich, aber örtlich beschränkt. Größer ist die formgebende Bedeutung der Staublawine.

Der nasse, schwere Schnee, der die Grundlawine zusammensetzt, rutscht als geschlossene Masse zur Tiefe, in Tobeln und Runsen noch anschwellend. Sie schmiegt sich den Wandungen ihrer Bahn an, wirft sich an der Außenseite von Krümmungen hoch hinauf, bäumt sich an Felsvorsprüngen, reißt Waldungen mit sich und wühlt den Boden oft tief auf. Wie eine Mure kann auch sie mit unaufhaltsamer Gewalt über Vorsprünge hinausfahren und ihre Bahn verlassen. Darin liegt die Gefahr: die Lawine sucht im Tal eine Stelle heim, an der sie nicht erwartet werden konnte.

Die Grundlawine ist eine Erscheinung des Frühjahrs. Besonders wenn der Föhn über die Alpen fegt, dann

wird es in allen Schluchten, in allen Lawinenzügen lebendig. Der Witterungsumſchlag, den dieſer Wind bringt, eine Erhöhung der Temperatur, läßt viel Schnee ſchmelzen. Die Schmelzwaſſer ſickern in die tieferen Lagen, durchfeuchten ſie und laſſen ſie zuſammenſintern. Der naſſe Schnee ballt ſich und bildet über dem meiſt noch hartgefrorenen Boden eine ſchlüpfrige Schicht. Es bedarf nur des Impulſes, um das Abgehen der Lawine herbeizuführen. Bis auf den Grund reißt der Schnee ab, ſo daß der dunkle, nackte Boden zum Vorſchein kommt; daher der Name! Der Untergrund beſtimmt die Bahnen, die von den Maſſen eingeſchlagen werden, das regelmäßige Abreißen, ihr regelmäßiges Erſcheinen. Jahr für Jahr ſtürzen ſie durch die Lawinenzüge, meiſt nur einmal, unter Umſtänden aber mehrere Male durch ein und dieſelbe Rinne. Zuzeiten bleiben ſie aus; in ſchneereichen Jahren hört man ſie bei Tauwetter wieder in allen Furchen niederkrachen. So haben denn dieſe Jahr für Jahr wiederkehrenden Boten des Frühlings von den Talbewohnern Namen erhalten, die ſich meiſt an den Namen des Berges anlehnen, an dem der Lawinenſturz niederzugehen pflegt. „Urbachlaui“ (Laui = Lawine), „Lauberhornlawine“, „Avalanche de la Dent de Broc“, „Avalanga della Valaſcia“ (Avalanche franz., Avalanga ital. = Lawine) ſind ſolche Namen, die ſich nicht nur auf den Sturz, ſondern auch auf die Sturzbahn, die regelmäßig durchfegt wird, und die ruhenden Maſſen im Talgrunde beziehen.

Vor dem Abgang der Grundlawine finden wir, wie ſchon erwähnt wurde, den Schnee im Sammelgebiete durchnäßt. Wie ein Brett liegt er auf dem Untergrund, ohne an

ihm zu haften. Nur der Zusammenhalt mit anderen Schneepartien bewahrt das „Schneebrett" vor dem Abgehen, bis der geeignete Impuls eintritt. Es genügt das Wegtauen einer kleinen Schneemasse, die als Widerhalt gedient hat, oder der Einsturz eines Teiles des hohlliegenden Schneebrettes, und die Talfahrt beginnt. Der Tritt eines unvorsichtigen Menschen, eines Tieres kann zu sehr ernsten Unfällen führen. Und gerade jetzt, im Zeitalter des Skilaufes, mehren sich die Berichte von Unglücksfällen, die durch „abgehende Schneebretter" verursacht wurden. Die Skier schneiden wie Messer in den Schneehang, lösen dadurch den Zusammenhang des „Brettes" mit den höher liegenden Schneepartien. Die Lawine formiert sich, das „Brett" beginnt unter der Belastung zu gleiten und reißt den unglücklichen Erreger mit sich. Darauf ist unter vielen anderen Beispielen die Katastrophe von Landro (Südtirol) 1910 zurückzuführen, die eine österreichische Patrouille an der italienischen Grenze betroffen hat. Ein anderer Unglücksfall, der wegen der Zahl der Opfer weithin bekannt geworden ist, geschah an der Jungfrau im Sommer 1910. Sechs Menschenleben sind hier zugrunde gegangen, eine Reihe schwerer Verletzungen haben sich die anderen Mitglieder der Karawane zugezogen. Etwa 14 Tage alter Neuschnee auf hartem Grund (Fels und gefrorener Winterschnee) war durch Sonne und Föhn aufgeweicht worden und hielt nicht mehr an der Unterlage fest, er begann, sich langsam loszuschieben. Ein Führer, der gerettet wurde, berichtet, daß die Partie bei gutem Wetter von Grindelwald aufbrach, dem Hüttenwart der Berglihütte

Proviant zu bringen. Eine Stunde unterhalb der Hütte bemerkte er eine Karawane von acht Personen, die der Hütte schon recht nahe war. Das Gewicht der Menschen löste das Schneebrett, riß die Unglücklichen zur Tiefe und erfaßte auch noch die vier Teilnehmer der unteren Partie. — An steilen Hängen ist bei klebrigem, sich ballendem Schnee stets äußerste Vorsicht notwendig; die Disposition zur Lawinenbildung ist eine außerordentlich große!

Noch eine andere Art alpiner Unglücksfälle gehört in die Rubrik: abgehende Lawinen. Das ist das Lostreten von Schneewächten und Schneeschildern. An den Kämmen des Gebirges sammelt sich der Schnee an, herbeigefegt durch den Wind. Die einzelnen Teilchen haften fest aneinander und bauen eine oft viele Meter dicke Brücke auf, die nach der Seite überhängt, nach der der Wind bläst. Ein Betreten dieses trügerischen Gebildes kann zum jähen Sturze führen, denn meist ist die Wächte nicht stark genug, eine Menschenlast zu tragen. Sie schwebt über dem Abgrund. Vorsichtig muß sie umgangen werden. Stufen werden in den steilen Hang unter ihr geschlagen, tief genug unter der schneeigen Höhe des Kammes, daß ein Abbrechen den Menschen auf seinem mühsam gebahnten Weg nicht gefährde. Nicht immer sind die Verhältnisse so leicht zu überblicken, die Hindernisse so leicht zu überwinden, wie unser Bild darstellt (Tafel 22)!

Die in Bewegung geratene Masse gleitet, wälzt sich, „fließt" in wüstem Durcheinander abwärts, wobei aber der ballige Schnee beisammen bleibt. In den gewundenen, von Felsstufen unterbrochenen Rissen kommt es auch vor, daß die Lawine in freiem Fall zur Tiefe stürzt oder

am Ausgang eines Tobels über eine Steilwand das Tal erreicht. Aber auch dann bildet sich keine Schneestaubwolke, sondern wie ein Hydrantenstrahl spritzt der Schnee auf. Nach allen Seiten jagen Knollen und Ballen aller Größen durch die Luft, um sich unter der Stufe wieder zu geschlossenem Strom zu vereinigen. Die Hänge, über die die Lawine hinwegschießt, bleiben oft vollkommen unversehrt, wie der kleine Wald „im toten Winkel", über den in weitem Bogen die „Urbachlaui" (Berner Oberland) durch die Luft donnert und erst weiter unterhalb den Boden wieder erreicht.

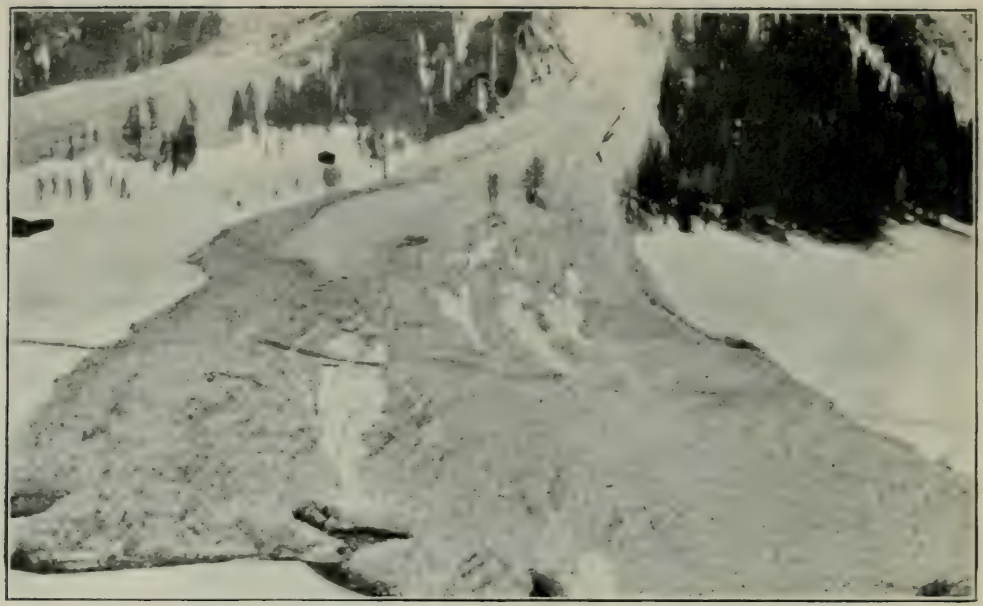
Wird der Untergrund flacher, so hemmt sich allmählich die Bewegung. Mit breiter, hoher Stirne wälzt sich die Lawine über ihren Kegel. Weiter oberhalb ist es mehr ein Fließen innerhalb des murgangähnlichen Schneestromes. Phänomene, wie wir sie an Muren wahrgenommen, wiederholen sich auch hier. An den Rändern der Schneemassen, die wie Zungen, wie Lavaströme ins Tal herablecken, ist die Bewegung eine langsamere. Stets sind hier neue Hemmnisse vorhanden, an denen sich der Schnee in langen Wällen staut. Wie wir bei Muren eine Eindämmung des Schuttstromes beobachten konnten, so lagern sich auch an den Seiten der Lawinen häufig Schneedämme ab, zwischen denen die Massen wie in einem Kanal dahinschießen. Selbst an steilen Hängen, in engen Schluchten wirft der Schneestrom randliche Wälle auf, die nach oben im Sammelgebiet verschwinden, nach unten auf dem Lawinenkegel auslaufen. Begleiter der Bewegung, sind diese Wälle auch am schärfsten entlang der Sturzbahn ausgeprägt.

Tafel 21. Phot. F. Schönenberger, Bern.

Abgehende Grundlawine am Schloßberg (Kanton Uri). Nach Dr. J. Coaz.

Tafel 22.

Schneewächte am Kleinglockner (Kärnten). Nach Spemann.



Tafel 23.

Grundlawine auf dem Lawinenkegel (Jatzhorn, Engadin).

Tafel 24. Phot. Lienhard & Salzborn, Chur und St. Moritz.

Lawinenschaden im Stockwald bei Maladers. Nach Dr. J. Coaz.

Tafel 25. Phot. J. Tomaszewski, Davos.

Spaltecke an einer Kirche bei Davos (Oberengadin). Nach Dr. J. Coaz.

Auch der Boden der Sturzbahn weist unzählige Unebenheiten auf, die hemmend auf den Lawinengang wirken. Sie aber werden leicht überwunden. Der Winterschnee glättet die Hänge der Berge und Schluchten dadurch, daß er sich in Hohlformen ansammelt, die Unregelmäßigkeiten ausgleicht. Dann sind es vor allem die unzähligen kleinen Lawinen und Schneestürze, die in den Rinnen nur auf kurze Erstreckung niedergehen, das Geleise der nachfolgenden Grundlawine ausfahren. Sie findet, wenn sie von oben, aus der Region über der Waldgrenze herabdonnert, ihren Talweg bereitet und arbeitet ihn wohl selbst noch aus.

An ihrer Stirne überstürzen sich die Massen; viele grobe und feine Schneeballen werden von dem *geschlossenen Strom* überholt. Ständig gerät so Schnee an die Unterseite der Lawine und wird gegen den Boden gedrückt, förmlich zusammengestampft. Streifige Gleitflächen werden in diese Schneeunterlage eingefurcht, wenn die Lawine zu Tal fegt. Nach ihrem Abgang kann man den beinharten Untergrund mühelos überschreiten. Viel schwieriger gestaltet sich das Wandern über die zwar festen, aber chaotisch getürmten Trümmer der Lawine selbst. Die Festigkeit der anscheinend nur lose geballten Massen überrascht uns. Sie erklärt sich aus der Art des Stehenbleibens. Die Stirne der Grundlawine verzögert zuerst die Bewegung; sie bremst. Die Massen, die nachfolgen, pressen und drücken von oben nach. Knirschend, ächzend kommt der Schneestrom zur Ruhe. „Die Lawine schreit" und steht nach wenigen Augenblicken, eine breite Zunge auf dem Lawinenkegel (Tafel 23). Der Druck innerhalb

der sich setzenden Lawine ist ein enormer. Übereinstimmend berichten Menschen, die mit Lawinen gestürzt sind, daß sie sich in der gleitenden Masse frei bewegen konnten. Erst vor dem Stillstehen ließ sich zunächst ein Knirschen und Stöhnen vernehmen; dann folgte eine Pressung, die die Eingeschlossenen zu zerquetschen drohte, worauf jede Bewegungsfreiheit der Glieder aufhörte. In festes Eis fanden sie sich eingebettet. Ja, es wird berichtet, daß mitunter Abgestürzte auf der Lawine wie auf einer Flüssigkeit schwammen, aber beim Stillstand einen Fuß, eine Hand, einen Rockzipfel zwischen den Schnee geraten ließen und so derart gefesselt wurden, daß eine Befreiung ohne fremde Hilfe unmöglich wurde. Der Rock, dessen Ende eingeklemmt worden war, mußte zurückgelassen werden; Eishacken mußten die in Schneeeis eingegossenen Gliedmaßen befreien.

Verschiedenartig sind die Veränderungen, die das Landschaftsbild durch den Sturz von Grundlawinen erfährt. Soweit diese wirtschaftliches Interesse verdienen, wollen wir ihre Besprechung auf später verschieben. Zunächst soll unsere Betrachtung wieder jenen Zügen im Hochgebirge gelten, deren Entstehung ausschließlich auf Lawinenschlag zurückgeht und für ihn charakteristisch ist.

Hierher gehört die Ausgestaltung der Furchen, der Lawinenbahnen, die zur Modellierung des Bergreliefs so hervorragend beitragen. Teilweise haben wir diese Züge schon gewürdigt (S. 96).

Im Sammelgebiet hat die Lawine den Schnee bis auf den nackten Boden zusammengerafft. Dieser ist nach ihrem Abgang festgestampft. Gräser und Halme sind nieder-

gedrückt und weisen nach der Richtung der Bewegung. Oft auch sind Streifen in den Grund gepflügt, die gleichfalls nach abwärts zeigen. Doch erst in der Sturzbahn, im Tobel, werden wir gewahr, welch mächtige Faktoren der Gebirgsabtragung die Lawinen sind. Geschürft und tief aufgewühlt senken sich Rinnenboden und -flanken zum Tale. Schuttwerk, Rasenstücke, ganze Komplexe der Vegetationsdecke, Baumstämme, Felsblöcke werden mitgerissen. Sie fahren wie Hobel durch den Lawinenzug, glätten und schrammen die Felswände und reißen immer mehr Trümmer los. Es ist eine richtige Erosionsarbeit, wie wir sie beim fließenden Wasser kennen gelernt haben, die hier geleistet wird. Daß dabei Gebilde ähnlich den Gletscherschliffen (S. 30) entstehen, ist nicht erstaunlich. In langen Zügen sehen wir dann polierte, gerundete Felsbuckel als Streifen zwischen eckigen und kantigen Wänden herabziehen (z. B. am Spitalboden an der Grimsel). Scharf treten diese schmalen Lawinenbahnen hervor und unterscheiden sich von den Gletscherschliffen nur durch die Ausdehnung. Ein Gletscher kann große Flächen des Untergrundes abscheuern, denn er ist selbst ein großer Strom; die Lawine aber ist nur ein schmaler „Wildbach", der über jähe Felswände herabtost und nur das Gestein seiner kurzen Bahn abnützen kann.

Auf dem abschmelzenden Lawinenkegel sammeln sich alle mitgeführten Fremdkörper und häufen selbst einen Schuttkegel an. Die Oberfläche des Schnees schwindet, alle Verunreinigungen: Erde, Steine usf. lassen im Sommer kaum mehr den Lawinenkegel erkennen. Häufig beginnt

auf der erdigen Bedeckung des Schnees schon eine schüchterne Vegetation zu erblühen. Sei es, daß mitgerissene Grasbüschel oder Stauden Fuß fassen, sei es, daß die Samen hochalpiner Pflanzen zu keimen beginnen. An Stelle verschwundener Lawinen oder auf dem Lawinenkegel selbst finden sich auf diese Weise Kolonien von Pflanzen, deren Heimat hoch oben über den Tälern liegt. Edelweiß, Edelraute, Alpenglöckchen (Soldanella), Saxifragen sind solche fremde Gäste der Täler.

Vorübergehend kann eine Stauung von Flüssen und Bächen eintreten, wenn sich Lawinen in den Weg legen. Indes werden dadurch verheerende Überschwemmungen nur äußerst selten erzeugt, wiewohl die Schneemassen manchmal keineswegs geringer sind als etwa die Schuttmassen großer Muren. Das Wasser ist aber stets wärmer als der Schnee und beginnt alsbald eine lebhaft bohrende Tätigkeit, die durch Aufschmelzen des Schnees noch wesentlich gefördert wird. Bald ist ein Tunnel geschaffen, durch den der Bach in unterirdischem Lauf schäumt. Bis lange in den Sommer hinein sehen wir solche Lawinenbrücken in engen Tälern den Bach überspannen. Das Gewölbe bricht schließlich ein. In Form zweier erdiger Wälle begleitet hernach der Lawinenrest das Gewässer, um im Spätsommer oder gar erst im folgenden Jahre zu verschwinden.

Daß das Phänomen, das in der Natur so gewaltig wirksam ist, auch dem Menschen und seiner Kultur Schaden bringt, ist verständlich genug. Dadurch erst werden die Lawinenstürze zu Katastrophen. — Bei der Grundlawine spielt der Windschlag keine wesentliche Rolle; um so ge-

fährlicher ist der Schneeschlag selbst. Eng umgrenzte Bahnen reißt die Lawine in den Wald und deutet — auf unserer Abbildung trefflich zu sehen (Tafel 24) — an, daß die Verheerungen auf kleinen Raum beschränkt bleiben und nicht riesige Dimensionen annehmen wie bei Staublawinen. Da ihnen feste Bahnen vorgezeichnet sind, sollte man meinen, daß sie dem Menschen unmittelbar nicht gefährlich werden könnten. Und in der Tat, abgesehen von den alpinen Unglücksfällen, von denen ich früher sprach, sind es stets Ausnahmen, bei denen Menschenleben gefährdet werden. Wenn in sehr schneereichen Jahren die Lawinen unvorhergesehenen Umfang annehmen, so kann es wohl geschehen, daß sie in reißender Fahrt ihre Bahn an Krümmungen verlassen und mit furchtbarer Gewalt an einer Stelle hereinbrechen, an der ihr Erscheinen nicht erwartet wurde. Die rasende Schnelligkeit überrascht die Bewohner des Dorfes oder den Wanderer auf der Straße. An ein Entkommen ist nicht mehr zu denken. So wurde in den neunziger Jahren die Post Davos—St. Moritz vergeblich erwartet. Ein Suchen an der Unglücksstelle — gleich hatte man richtig an eine Lawinenkatastrophe gedacht — hatte keinen Erfolg. Nach vier Monaten wurde ein menschlicher Arm gefunden, der mitten aus dem Lawinenschnee herausgeschmolzen war. Das Gefährt war ereilt und mit seinen sechs Insassen begraben worden. Die Wucht und Schnelligkeit der Lawinen ist ja mitunter beispiellos; überqueren sie doch nicht nur häufig das Tal, sondern berennen auch noch den jenseitigen Hang, hoch an ihm emporbrandend!

Viel nachhaltiger, viel empfindlicher jedoch macht sich der Lawinenschaden geltend durch Zerstörung fruchtbaren Grundes, Almwiesen, Wälder oder Felder. Häufen sich auf den Wiesen über der Baumgrenze die Lawinenkegel an, so sammeln sich dort oben nach der Schneeschmelze auch die mitgeführten Gesteinstrümmer. Blocküberſät, von Jahr zu Jahr öder dehnt sich mancher Almboden in unseren Alpen und ist völlig unbrauchbar geworden. Er „vergandet". — In den Wald werden stets neue Lücken gerissen; er schrumpft zusammen und im gleichen Maß steigert sich die Zahl der jährlich niedergehenden Lawinen. Vielleicht trifft auch den Menschen ein Teil der Schuld. Er hat weite Hänge von Wald entblößt und dadurch an steiler Lehne große, kahle Flächen geschaffen, auf denen sich der Schnee häuft, auf denen im Frühjahr auch große Schneebretter abgehen können.

Diesen Verwüstungen zu steuern, ist man darangegangen, die Lawinen zu „verbauen". Besonders in Staaten, in denen die Forstwirtschaft große Bedeutung erlangt hat, ist man der Frage ernstlich näher getreten. Soll der Verbau von Erfolg gekrönt sein, so muß man nicht nur die Örtlichkeit genau kennen: Abrißgebiet und Sturzbahn der Lawine, die verbaut werden soll, sondern es ist auch eine genaue Kenntnis des Wesens der Lawinen im allgemeinen notwendig. Diese erlangt man nicht durch Studium einer Lawine, sondern natürlich möglichst vieler. Die Schweiz hat sich zuerst an das schwierige Werk gemacht, eine Statistik der Lawinen in den Schweizer Alpen ausarbeiten zu lassen[1].

[1] Dr. J. Coaz, Statistik und Verbau der Lawinen in den Schweizeralpen. Bern 1910.

Auf einer Karte sind vom gesamten Forstpersonal alle jene Risse und Schluchten eingetragen worden, durch die regelmäßig Lawinen fegen. Zahl und Art der Katastrophen wurden gebucht, die Zeit des Abganges vermerkt, so daß man in der Tat ein anschauliches Bild von der Erscheinung und Wirksamkeit der Lawinen erhält. Die seit langen Jahren gesammelten Erfahrungen sollen eben als Grundlage für einen zweckmäßigen Verbau dienen. Man hat ja nicht nur zu berücksichtigen, was am besten zu tun ist, sondern auch, welche Schutzanlage am billigsten durchzuführen ist. In Kürze sei hier einiges von den Ergebnissen der Statistik mitgeteilt, bedeutet es auch eine Wiederholung einzelner Punkte.

1. Im Schichtgebirge wird die Entstehung der Lawinen begünstigt, wenn die Schichten geneigt sind. Auf den glatten, schrägen Schichtflächen haftet der Schnee nicht vollkommen genug, um nicht infolge seiner eigenen Schwere schließlich die Talfahrt anzutreten. Jene steilen Felshänge dagegen, die den Schichtkomplex quer abschneiden, sind meist zu steil, um genügend Schnee sich ansammeln zu lassen.
2. Weitaus die meisten Lawinen gehen von nacktem Fels ab. Vegetation wirkt hemmend; Wald macht den Lawinensturz so gut wie unmöglich. Die Baumstämme wirken ja wie Pfähle, festigen die Schneedecke an steilen Hängen, verpfählen durch ihr Wurzelwerk auch den Untergrund. Es erhellt hieraus die Bedeutung der Legföhre (Latsche), jener Zwergform der Föhren, die bis 2400 m, also weit über der Baumgrenze noch ihr Fortkommen findet.

3. Weitaus die meisten Lawinen nehmen ihren Ursprung über der Waldgrenze, also zwischen 2000 m und 2500 m.
4. Noch höher liegt der Ursprung vieler Lawinen, die durch Abbrechen von Wächten und Schneeschildern entstehen. Sie gehören ausschließlich der Hochregion an. Wir haben ihre Bedeutung durch den Vergleich mit der Tätigkeit fließenden Wassers zu charakterisieren gesucht.
5. Die Witterungsverhältnisse sind natürlich von größter Bedeutung für das Ansammeln des Schnees und sein Abgleiten. Föhn bringt Tauwetter, und mit diesem brechen Lawinen und Muren zu Tal.

„Verbau" ist nicht das einzige Wehrmittel gegen Lawinenschaden. Es ist sogar viel näher liegend, die Gefahr herankommen zu lassen und an Ort und Stelle unschädlich zu machen. An Häusern und Kirchen bringt man z. B. sog. Spaltecken an (Tafel 25), deren Festigkeit genügt, die heranfahrende Lawine zur Gabelung zu veranlassen. Unversehrt bleibt das Gebäude; es wird umflossen. — Der eigentliche Verbau soll das Abgehen der Lawine überhaupt verhindern. Er erstreckt sich daher vom Sammelgebiet ob der Waldregion durch die ganze Sturzbahn bis ins Tal hinab. Kunstvoll und kostspielig sind diese Anlagen, zumal, wenn es gilt, Verkehrswege vor Gefahr zu schützen. An der Gotthardbahn und besonders an der jüngeren Albulabahn sind die Schutzbauten überaus großartig. Lawinenzüge werden in Galerien unterfahren; Tunnels leiten unter den gefährlichsten Runsen hin, deren wirksamer Verbau zu kostspielig wäre. Verpfählungen (die

Tafel 26.

Phot. A. Reinhardt, Chur.

Detail des Lawinenverbaus auf Muot. Nach Dr. J. Coaz.

Tafel 27. Phot. W. Penck.

Lobbiagletscher (Adamellogruppe). Aus Eislawinen regenerierter Gletscher unter der Felsstufe in der Mitte des Bildes.

Tafel 28. Phot. Dr. Götzinger.

Eislawinen am Rhonegletscher.

Aufforstung ersetzend) und Mauern verschiedenster Konstruktion, Erdwälle sind an den jähen Hängen errichtet worden, die Schneelagen zu festigen, gleitende Partien aufzuhalten, die Sturzbahn immer wieder zu knicken, die Gewalt der Talfahrt zu brechen. Der Liebenswürdigkeit von Dr. Coaz verdanke ich unter anderem die Abbildung: Lawinenverbau auf Muot unterhalb Bergün (an der Albulabahn) (Tafel 26).

Nur den schädlichsten und größten Lawinen kann man so zu Leibe rücken; die erdrückende Mehrzahl, zumal die der Hochregion allein angehören und keinen Schaden anrichten können, werden genau wie seit urdenklichen Zeiten niedergehen, werden ihre Funktion, an der Abtragung des Gebirges zu arbeiten, ausüben. Es fehlt auch nicht an Stimmen, die hierin einen Nutzen, keinen Schaden erblicken. Gäbe es keine Lawinen, so läge der Schnee länger auf den Bergen; es wäre oben noch kälter, in den Tälern wärmer, während ihnen durch die Lawinen eine Abkühlung gebracht wird. Läßt sich auch nicht verkennen, daß ein klimatischer Ausgleich — d. h. eine Verzögerung des Frühjahrbeginnes im Tal, eine Beschleunigung auf den Bergen — eintritt, so dürfte es wohl zu weit gehen, zu behaupten, daß ohne die Lawinen die Temperaturerniedrigung in der Höhe ausreiche, eine Reihe von Almen und Heuwiesen unbrauchbar zu machen. Die Schneegrenze würde wohl kaum eine merkbare Verschiebung nach unten erfahren! Dagegen wäre es gerade für die Hänge, an denen mühselig Heu gewonnen wird, vorteilhaft, sie lägen *länger* unter schützender Schneedecke und erhielten später im Frühjahr, wenn alle Fröste überstanden sind,

durch den schmelzenden Schnee eine ausreichende Bewässerung. Ziehen wir neben dieser Erwägung die Schäden in Betracht, die jährlich unmittelbar durch Lawinen angerichtet werden, so können wir in ihnen nur eine kulturfeindliche Macht erblicken.

Eislawinen.

Eine Erscheinung, der Gletscherbewegung angehörig, wird auch zu den Lawinen gestellt. Nicht regelmäßig, alljährlich wiederkehrend sind die Gletscherlawinen; sie haben Ursachen, die von Fall zu Fall verschiedene sein können, Ursachen, die nicht periodisch auftreten und periodisch Katastrophen auslösen. Die Gletscherlawinen sind mehr eine Ausnahmeerscheinung, und für sich wollen wir sie betrachten.

Schon im ersten Abschnitt (S. 28) ist darauf hingewiesen worden, daß die Bewegung der Eisströme wie aller talwärts eilender Massen vom Gefälle abhängt. Je steiler sich der Untergrund senkt, desto rascher geht die Fahrt zu Tal. Bei den zähplastischen Eismassen äußert sich dies in der vermehrten Spaltenbildung, die bei rascherer Bewegung zu einer Auflösung in ein wildes Trümmerwerk von Eistürmen und -pyramiden, von Wänden und gähnenden Abgründen führen kann. Ein „Gletscherbruch" (Tafel 28) überkleidet mit bläulichweiß schimmerndem Chaos das steiler werdende Bett. Stets um Mittag, wenn im Sommer das Tauen beginnt, wird es in den „Séracs" lebhaft. Ständig krachen und donnern die stürzenden Eispfeiler. — Noch weiter kann die Auflösung des Gletschers gehen. Eine Felswand durchzieht sein Bett. Wie ein dunkles Band teilt sie den hellen Strom. Und wie ein

Wasserfall wälzen sich die Eismassen über die Wandstufe. Freilich geschieht dies nicht in geschlossenem, ununterbrochenem Strahl, sondern partienweise brechen die Eisränder ab, im selben Maße, als aus dem Firnbecken ein Nachschieben, ein Zuströmen erfolgt. Unter der Felsstufe lehnen sich an sie spitze Kegel blendend weißer Eislawinentrümmer, die sich weiter unterhalb wieder zu geschlossenem Eisstrom vereinen: ein erneuter Gletscher nimmt aus den Trümmerhaufen seinen Ursprung (Tafel 27).

Indes sind es nicht diese „Eiskaskaden", die eigentlich den Namen „Gletscherlawinen" verdienen. Handelt es sich bei ihnen doch mehr um eine Einzelheit, eine Bewegung innerhalb des Eisstromes, nicht um ein Abreißen, ein Niedergehen eines Gletscherstückes, das mit verheerender Gewalt in die Täler bricht. Solche Katastrophen, wiewohl nur selten, sind doch in unseren Alpen eingetreten, haben sich wegen ihrer Größe und Gewalt tief in die Erinnerung der Bergbewohner eingeprägt. Hierher gehört auch der Gletscherbruch an der Altels, den ich hier kurz beschreiben möchte, um durch dies eine genau bekannte Beispiel die seltene Art von Katastrophen zu charakterisieren.

Am 11. September des Jahres 1895 ereignete sich an dem vielbegangenen Weg über die Gemmi, einen Paß, der von Kandersteg im Berner Oberland nach dem Rhonetal leitet, das furchtbare Unheil. Die Altels (Tafel 29) ist eine prächtig geformte Pyramide, deren obere Hänge von schimmerndem Firn und Gletscher bedeckt sind. Ein Teil des Gletschers löste sich zu früher Morgenstunde los und stürzte in das Kandertal. Von dem Sturz

weiß kein Augenzeuge zu berichten: alle Bewohner der Spitalmatte am Fuß des Berges kamen ums Leben. Undeutliche Staubwolken, ein Zittern des Erdbodens, verbunden mit anhaltendem unheimlichem Getöse, der Niedergang eines feinen Sprühregens von Eispulver und Wasser, den verschleppten Eiswolken, die der Sturz aufwirbelte, — das ist alles, was in näherer und fernerer Umgebung wahrgenommen wurde. Die Verunglückten wurden bald auf den Trümmern der Lawine, nur wenig von Eisschutt überdeckt, aufgefunden. Sie waren zum Teil entsetzlich verstümmelt und scheinen gerade beim Aufstehen vom Verhängnis ereilt worden zu sein. Darauf deutet der Mangel der Bekleidung, der Umstand, daß einer der Männer einen Schuh am Fuß, einen Strumpf in der Hand hatte. Wie elementar, wie rasend schnell mußte die Lawine zu Tal gebrochen sein! Der Schall, der Vorbote der Katastrophe, konnte der Lawine nur wenige Sekunden vorausgeeilt sein.

Betrachten wir den Aufbau der Altels etwas näher, so fällt uns sogleich die Neigung der Gesteinsschichten gegen Nordwesten auf. Mit ungefähr 30 Grad „fallen" die Kalkbänke gegen das Kandertal ein. Dieses ist derart in das Gebirge eingeschnitten, daß die Schichten an dem einen Hang sich talwärts senken, durch das andere, gegenüberliegende Gehänge jedoch durchkreuzt und quer abgestutzt werden. Fortgesetzt sind in historischer und prähistorischer Zeit Schichten auf der geneigten Unterlage ausgeglitten (S. 75) und ließen an den östlichen Flanken des Schwarzbachtales schimmernde Schichtflächen zurück. Dadurch erhielten die Berge ihre so charakteristische Gestalt, jene

Pyramiden, die in jähen Wänden nach zwei Seiten abbrechen und sich nach der dritten mit ebener Fläche — einer Schichtfläche — senken. Auf solcher Schichtfläche können sich Schneemassen sammeln, während die Abbrüche auf allen anderen Seiten keinen Raum dafür gewähren. So konnte auch auf der Altels, die mit 3636 m Höhe in die Schneeregion hineinragt, ein Firnfeld, ein Gipfelgletscher entstehen. Für das Zustandekommen der Katastrophe war es von großer Bedeutung, daß der Gletscherboden eine glatte Schichtfläche war, daß das Eis, wie man sagt, „konkordant" auf den Schichten ruhte, mit diesen steil gegen das Tal geneigt. Gleich am unteren Rande des Eisfeldes (auf unserer Abbildung links von der weiter ins Tal herabhängenden Gletscherzunge) wird das Gehänge steiler. In Wandstufen brechen hier die Schichten ab, tiefer liegende Schichtflächen leiten in glatter Flucht zu Tal. Regelmäßig fielen hier kleine Schnee- und Eislawinen herab, wenn sich die Stirne des Eisrandes den obersten Wandabbrüchen näherte. Sie aber waren ganz unbedeutend gegen die Masse, die im September 1895 losbrach. Die Abrißstelle greift in großem Bogen wie eine Bresche in das Firnfeld und deutet durch ihren Verlauf die Richtung größten Zuges an. Bei jeder Zerreißung findet nämlich die Abtrennung schließlich entlang von Linien oder Flächen statt, die im allgemeinen *senkrecht* auf der Richtung der Zerrung stehen. An jedem Gletscher erkennen wir in der gekrümmten „Randkluft" eine solche Zerreißungslinie! Auch die Bogenform des Abrisses an der Altels ist nicht zufällig, sondern folgt dem genannten Gesetz. Die senkrechten Eiswände, die

durch den Abbruch entstanden waren, umsäumten den nackten Felsboden, der in glatten, unersteiglichen Platten zur Tiefe leitet. Eine Berechnung ergab, daß die fehlenden Eismassen wohl an vier und eine halbe Million Kubikmeter Inhalt besaßen. Diese schier ungeheure Lawine ist abgestürzt! Zunächst ging die Talfahrt über die geneigten Schichtflächen: wohl anfangs ein langsames Gleiten, das in dem Moment begann, als die Abtrennung vollzogen war, als der Zusammenhang mit den zurückbleibenden Firn- und Gletscherteilen durch eine Kluft gelöst war. Bald aber treten Wandstufen in den Weg, durch die der Sturz beschleunigt wurde, durch die das Eis in kleine Teile aufgelöst wurde. Besonders auf den „Tatelen", jener Terrasse, die in der Mitte unseres Bildes die rasenbestandenen Steilhänge nach oben durch flache Böschungen ersetzt, war das Aufschlagen der Eiskaskaden so vehement, daß ein Zerspritzen in Eispulver, eine Zerkleinerung aller großen Eisklumpen erfolgte. Von hier schoß die Lawine in freiem Sturze hinab. Gewaltig wurde unter ihr die Luft zusammengepreßt, legte sich doch der Eisstrahl wie ein breites Dach mit riesiger Wucht auf sie und preßte sie nach den Seiten hinaus. Der Windschlag, die Eisstaubwolke, die noch weithin verschleppt wurde, sind nicht durch das bloße Abgehen der Lawine entstanden, sondern erst durch das Aufschlagen und Auseinanderstieben der geschlossenen Masse. Wie eine Sturmflut brach die Lawine zu Tal, überquerte es, brandete noch volle 300 m an der Gelliwand, dem gegenüberliegenden Hang, empor. Diese Brandungswelle vermochte sich nicht an der steilen Lehne zu halten; wie eine zweite Lawine kam sie vom Gellihorn

herab, hinter sich die breite, mit Eis und Schmutz überzogene Wand lassend.

Gleichmäßig dick breitete sich der Fächer der Eislawine im Tale aus, Menschen und Viehherden begrabend. „Überall die gleiche einförmige Trostlosigkeit, wirkungsvoll, ohne großartig zu sein; ein Konglomerat, schmutzig und kotig, nur hie und da läßt es den Firn durchblicken; das ist das Leichentuch, unter welchem das ganze Tal begraben liegt. . . . Die bewußtlosen Naturkräfte haben da roh drauflosgearbeitet. . . ." (J. Beck.)

Ein Durchwandern der verwüsteten Fläche ließ, sobald sich das Auge an den traurigen Anblick gewöhnt hatte, erkennen, daß der scharf umgrenzte Lawinenkegel noch umsäumt war von einer Zone, in der der Windschlag zu intensivster Entfaltung gekommen ist. Sie wurde „Spritzzone" genannt; auf ihr bedeckten Eisgerölle nur noch in Fetzen den Boden. Hier war vielmehr alles, Boden und Bäume, mit einer Kruste von Eisstaub überdeckt, und zwar stets an der Seite, die den Wänden unter den Tatelen zugekehrt ist. Alles deutet darauf hin, daß ein scharfer Wind, mit Eisstaub und gröberen Stücken beladen, dicht am Boden hinfuhr, alles vor sich niederreißend und weit verschleppend (schwere Hüttenbalken sind mehrere hundert Meter verweht worden; einzelne Stücke Vieh sind bis auf die Gelliwand, 400 m über dem Talboden, getragen worden!). Und ferner läßt sich erkennen, daß diese Sturmwelle an einem Punkt ihren Ursprung nahm: die Richtung der niedergeworfenen Bäume, die Verletzungen des Bodens, die Anhäufung von Eisstaubwällen an Unebenheiten weisen alle nach den Tatelen. Nun erinnern

Tafel 29. Phot. Prof. Brückner.

Die Altels. Die Abrißnische im Gletscher ist durch die steilen Eisränder umsäumt. Die Lawinenbahn ging über die Platten (Schichtflächen) in der Mitte des Bildes.

Tafel 30. Phot. Prof. Brückner.

Durch die Altelslawine umgeworfener Wald (Windschlag).

wir uns, daß die Lawine hier in mächtiger Breite in freiem Sturz über das Tal kam, die Luft mit pfeifender Gewalt unter sich herauspreßte. — Das Bild zeigt die übereinstimmende Richtung der niedergeworfenen Bäume, zeigt die Entästung und läßt auch erkennen, daß im Windschatten, hinter schützenden Rücken die Bäume unversehrt stehengeblieben sind (Tafel 30).

Schon im Jahre 1782 war an der Altels ein ähnliches Ereignis eingetreten, das in den Chroniken vermerkt wurde. Gleiche Ursachen lassen auf gleiche Wirkungen schließen; und in der Tat ist durch einen genauen Vergleich beider Katastrophen die Ursache für das Abgehen der Gletschermasse gefunden worden. Auf der stark geneigten Unterlage könnte sich der Gletscher niemals halten, wäre er nicht festgefroren. Dieser Gletscher ist ja von anderer Art als die Eisströme in den Tälern: als Hängegletscher liegt er frei auf der Flanke eines Berges! Ein Vorrücken des Eises infolge schneereicher Jahre kann uns keine Erklärung liefern: die Gletscher sind im Schwinden begriffen, nicht im Anwachsen! Dann war auch das Jahr 1895, wie alle vorhergehenden, ungemein trocken und heiß. *Hierin* finden wir die Lösung des Rätsels. Eine freiragende Pyramide wie die Altels kann eine tiefgehende Erwärmung erfahren, wenn die Sommer heiß und trocken sind. Diese Erwärmung kann so weit gehen, daß auch der *Untergrund* des Eises, der um 0 Grad Celsius schwankt, *über* den Gefrierpunkt erwärmt wird, und sei es nur um einen halben Grad! Dies ist eingetreten. Mählich trat ein Losschmelzen des Gletschers von seiner Unterlage ein, das Eis der höheren Partien konnte den

Zug der an ihnen hängenden, nur durch sie gehaltenen Massen nicht länger aushalten; Klüfte rissen auf, die Lawine begann die Talfahrt.

Solche Katastrophen sind zwar nicht einzig dastehend, aber doch sehr selten. Daraus geht hervor, daß sie über das betroffene Tal, über den Menschen zwar schweres Elend bringen können, daß ihre Bedeutung für die Natur jedoch gering ist, jedenfalls geringer als die irgend eines unscheinbaren, aber rastlos tätigen Abtragungsvorganges. Es ist nicht einmal leicht, ein zweites Beispiel an das beschriebene anzureihen. Die Eismure von St. Gervais (Mont-Blanc-Gebiet), die 1892 niederging, könnte hier noch genannt werden. Im Gletscher hatte sich ein See gebildet (aus Schmelzwasser), der schließlich die ihn haltenden Eiswände eindrückte. Eis, Schutt, Wasser kamen herab,

erfüllten das Tal von Bionnessay und
rafften des Nachts ihre
Opfer dahin.

Schlußwort.

Einen kleinen Ausschnitt aus dem Weben und Leben der „toten" Natur haben wir kennen gelernt: nur die Kräfte, die durch ihr „bewußtlos rohes Drauflosarbeiten" dem Menschen zur Katastrophe werden. Wir haben aber gelernt, in ihnen nur eine örtliche Steigerung jener Vorgänge zu erblicken, die ständig wirksam sind. Wie sie festen Gesetzen unterworfen sind, so sind es auch die Naturgewalten; es sind die Gesetze der Abtragung, nach denen das Vergehen der Gebirge fortschreitet. Den Weg, den die Zerstörung nimmt, können wir beobachten. Das bunte Relief, die tausend Linien und Züge, die zahllosen Runzeln, die Mannigfaltigkeit der Gipfelformen, die jeden Berg als Individualität erscheinen läßt — das alles ist ja nicht zufällig. Das alles ist ja ein Produkt von Ursache und Wirkung. Das alles eint sich zu einem Antlitz, in dessen Ausdruck wir gleichsam die ganze Geschichte von Entstehen und Vergehen lesen. — Wie lebendig wird die Landschaft dem, der wachen Auges durch die Natur geht!

Einige geologische und morphologische Werke; alpine Katastrophen.

E. Brückner, Der Gletscherabbruch an der Altels im Berner Oberland. Himmel und Erde. Berlin 1895. VIII, H. 2.

J. Coaz, Statistik und Verbau der Lawinen in den Schweizeralpen. Bern 1910.

F. Frech, Über Muren. Zeitschrift des D.Ö.A.V. 1908.

G. Götzinger, Beiträge zur Entstehung der Bergrückenformen. Geogr. Abh. IX, 1. Leipzig 1907.

A. Heim, Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart 1885.

M. Neumeyer, Erdgeschichte. Wien, Leipzig 1895.

A. Penck und E. Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1909.

C. Buß und A. Heim, Der Bergsturz von Elm, den 11. September 1881. Denkschrift. Zürich 1881.

S. Finsterwalder, Der Vernagtferner. Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D.Ö.A.V. I, S. 78.

A. Heim, Über Bergstürze. Zürich 1882. Neujahrsbl. d. Naturf. Ges. Zürich.

C. Schmidt, Der Murgang des Lammbaches bei Brienz. Urania, Berlin 1896.

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Naturwissenschaftliche Wegweiser

Sammlung gemeinverständlicher Darstellungen

Herausgegeben von Professor Dr. Kurt Lampert, Vorstand der K. Naturaliensammlung in Stuttgart.

Jeder Band Serie A (Kl.-Oktav) geh. M 1.—, kart. M 1.20, schön geb. M 1.40
„ „ „ B (Mittel-Oktav) geh. M 2.—, schön gebunden M 2.80

Die Welt der Sterne. Allgemeinverständliche Darstellung der astronomischen Forschungen über die Fixsterne und den Bau des Universums. Von Professor Dr. Hermann J. Klein. Mit 5 Tafeln. 112 Seiten. (Serie A Band 1.)

„Selten hat jemand in so interessanter, verständlicher Darstellung über die Ergebnisse der astronomischen Forschung berichtet, wie hier Klein." (Globus, Braunschweig.)

Bilder aus dem Käferleben. Von Oberstudienrat Professor Dr. Kurt Lampert. Mit 5 Tafeln und 35 Abbildungen im Text. 124 Seiten. (Serie A Band 2.)

„Ein reizendes Büchlein! Nicht zum Sammeln, sondern zu einer innigen Bekanntschaft mit den Lebensgewohnheiten dieser interessanten Tierklasse leitet es jung und alt an. Es muß eine Lust sein, an seiner Hand die Käferwelt zu durchforschen." (Neue Vogtländische Zeitung.)

Tierleben des deutschen Waldes. Von Professor Dr. Karl Eckstein. Mit 4 ein- und mehrfarbigen Tafeln und 40 Abbildungen im Text. 136 Seiten. (Serie A Band 3.)

„Ein prächtiges Bändchen, das für Spaziergänge reiche Anregung zu Betrachtungen im Walde gibt. Da es von einem guten Kenner des Waldes geschrieben ist, so ist es auch durchaus zuverlässig." (Unsere Welt.)

Die Bäume und Sträucher unserer Wälder. Die Lebensbedingungen unserer Holzgewächse. Von Forstassessor Otto Feucht. Mit 6 Tafeln und 47 Abbildungen im Text. 128 Seiten. (Serie A Band 4.)

„Ein frischer Waldstrauß, der uns auf die einfachste Weise mit unseren einheimischen, im Walde vorkommenden Baum- und Straucharten bekannt macht. Jeder wißbegierige Naturfreund sollte das vortreffliche Buch seiner Bücherei einverleiben."
(Forstmeister Kautz in „Der Brocken".)

Zu beziehen durch jede Buchhandlung oder direkt vom Verlag
..... Strecker & Schröder in Stuttgart .....

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Deutsche Moose und Farne. Von Professor Dr. Walter Migula. Mit 50 Abbildungen. 149 Seiten. (Serie A Band 5.)

„Eine vollkommene kleine Naturgeschichte der Moose und Farne, die eine vortreffliche Orientierung bietet." (Natur.)

Die Weichtiere Deutschlands. Eine biologische Darstellung der einheimischen Schnecken und Muscheln. Von D. Geyer. Mit 3 Tafeln und 60 Abbildungen im Text. 116 Seiten. (Serie A Band 6.)

„Ein Schatzkästlein, das jedem Freude machen wird, der es in die Hand nimmt. Die Abbildungen sind vorzüglich; einige geradezu meisterhaft." (Professor Dr. Boettger im Zoologischen Beobachter.)

Die Pflanzenwelt der Alpen. Eine Einführung in die Kenntnis und die Lebensverhältnisse unserer häufigsten Alpenpflanzen. Von Heinrich Marzell. Mit 48 Abbildungen auf ein- und mehrfarbigen Tafeln und 16 Abbildungen im Text. 102 Seiten. (Serie A Band 7.)

Aus dem Inhalt: Einleitung. Die Holzgewächse der Alpenflora. Die Pflanzen der Alpenmatten. Die Flora des Schuttes und der Felsen. Alpengärten.

„Ein prächtiges, lehrreiches Büchlein. Die Ausstattung ist durchaus lobenswert, die Tafeln, besonders die farbigen, sind naturgetreu und reizvoll." (Naturwissenschaftliche Rundschau.)

Allgemeine Pilzkunde. Einführung in die Kenntnis der wichtigsten Pilzgruppen. Von Professor Dr. Migula. Mit 5 mehrfarbigen Tafeln und 26 Abbildungen im Text. 104 Seiten. (Serie A Band 8.)

„Wie entstehen, was sind Pilze, welche Lebensbedingungen beanspruchen sie, wieviel Arten gibt es? — über all das gibt die Pilzkunde erschöpfende Auskunft. Wir raten allen Pilzfreunden, sich bald mit Migulas Pilzkunde zu versehen."
(Staatsbürgerzeitung, Berlin.)

Heide und Moor. Von Dr. Paul Graebner, Kustos am Kgl. Botanischen Garten der Universität Berlin, Dozent an der Kgl. Gärtner-Lehranstalt Dahlem. Mit 8 Tafeln und 32 Abbildungen im Text. 102 Seiten. (Serie A Band 9.)

„Wie lehrreich das Wandern in Heide- und Moorgegenden ist, das zeigt dem staunenden Naturfreund das vorliegende hübsche Bändchen." (Der Naturfreund.)

Zu beziehen durch jede Buchhandlung oder direkt vom Verlage
..... Strecker & Schröder in Stuttgart .....

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Die Naturdenkmalpflege. Die Bestrebungen zur Erhaltung der Naturdenkmäler und ihre Durchführung. Von **Professor W. Bock**, Geschäftsführer des Hannoverschen Provinzial- und Bezirkskomitees für Naturdenkmalpflege. Mit 8 Tafeln und 17 Abbildungen im Text. 117 Seiten. **(Serie A Band 10.)**

Jeder Naturfreund wird dieses prächtige Buch mit Freude begrüßen. Es gibt praktische Winke für einen wirksamen Schutz aller Naturschönheiten und wird in dieser Richtung gewiß reichen Segen stiften.

Die Haustiere in Abstammung und Entwicklung. Eine natur- und kulturgeschichtliche Darstellung von **Privatdozent Dr. M. Hilzheimer.** Mit einer Tafel und 56 Abbildungen im Text. 134 Seiten. **(Serie A Band 11.)**

„Wer sich über die Abstammung der Haustiere, nicht nur der deutschen, sondern der wichtigsten der ganzen Welt, unterrichten will, der mag zu dem kleinen und billigen Büchlein greifen; er wird eine Fülle neuer Tatsachen darin finden. Die Abbildungen, eine Tafel und 56 Textabbildungen, sind recht gut, sie erläutern die anschaulichen Ausführungen und ergänzen sie."
(Leipziger Volkszeitung.)

Das Radium. Von **Professor Dr. Hugo Kauffmann.** Mit 10 Abbildungen. 101 Seiten. **(Serie A Band 12.)**

Ein neues gewaltiges Geheimnis hat der Mensch der Natur abgelauscht, indem er das Radium entdeckte. Vorstehendes Buch berichtet in allgemeinverständlicher Weise über diese ungeahnten Naturkräfte und bietet jedem Gebildeten eine hochinteressante Lektüre.

Vulkanismus und Erdbeben. Von **Professor Dr. J. B. Messerschmitt** am Kgl. Erdmagnetischen Observatorium in München. Mit 9 Tafeln und vielen Abbildungen im Text. 106 Seiten. **(Serie A Band 13.)**

Erdbeben und Vulkanausbrüche haben sich in den letzten Jahren bedeutend vermehrt. Die interessanten Vorgänge bei diesen Katastrophen beschreibt auf Grund der neuesten Forschungsergebnisse vorliegendes Buch.

Parkbäume und Ziersträucher. Von **Forstassessor Otto Feucht.** Mit 6 Tafeln und 48 Abbildungen im Text. 100 Seiten. **(Serie A Band 14.)**

Ein vorzüglicher Wegweiser durch die zahlreichen fremden Bäume — Nadel- und Laubhölzer — sowie durch die vielen Arten von Ziersträuchern, die man in Garten und Park antrifft. Zahlreiche naturgetreue Bilder unterstützen den Text.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung oder direkt vom Verlage
..... **Strecker & Schröder in Stuttgart** .....

Verlag von Strecker & Schröder in Stuttgart

Amphibien und Reptilien I. Körperbau und Lebensweise. Von Prof. Dr. F. Werner. Mit 3 Tafeln und 38 Abbildungen im Text. 112 Seiten. (Serie A Band 15.)

Eine Einführung in die allgemeine Biologie der Amphibien, wobei nicht nur die jetztlebenden, sondern auch die ausgestorbenen Formen ausreichend berücksichtigt werden.

Amphibien und Reptilien II. Anpassung der Organe an die Lebensweise. Von Prof. Dr. F. Werner. Mit vielen Abbildungen. 80 Seiten. (Serie A Band 16.)

Der Verfasser teilt seine Beobachtungen über den Existenzkampf der gegenwärtigen Amphibien und Reptilien mit und behandelt in äußerst interessanter Weise die Mimikry, den Bau der Haut, den Farbenwechsel, die Häutung, die Ernährungsweise, die sekundären Geschlechtsunterschiede, die Fortpflanzung und vieles andere mehr.

Die Naturphotographie. Eine kurzgefaßte Anleitung zur Pflanzen- und Tierphotographie. Von Rudolf Zimmermann. Mit 45 Abbildungen auf 21 Tafeln. 98 Seiten. (Serie A Band 17.)

Ein vorzüglicher Berater für die vielen tausende Naturfreunde unter den Amateurphotographen, die in das interessante Gebiet der Pflanzen- und Tierphotographie eindringen wollen. Zahlreiche, auf Tafeln gedruckte, meisterhaft gelungene Aufnahmen mit Erklärungen über Abblendung, Belichtungszeit usw. ergänzen den allgemeinverständlichen Text.

Der Pflanzensammler. Anleitung zum Sammeln und Zubereiten von Pflanzen sowie zur Einrichtung von Herbarien und anderen botanischen Sammlungen. Von Robert Mißbach. Mit 2 Tafeln und 40 Abbildungen im Text. 100 Seiten. (Serie A Band 18.)

Im Anschluß an die Forderungen, die an botanische Sammlungen gestellt werden müssen, behandelt hier ein tüchtiger Fachmann die Einrichtung von Herbarien der Blüten- und Sporenpflanzen und der sich daran anschließenden Sammlungen einzelner Pflanzenteile, soweit sie nicht im Herbar untergebracht werden können — mit allen Teilen und Entwicklungszuständen der einzelnen Pflanzenarten.

Unser Flugwild. Von Dr. Ernst Schäff. Mit 4 Tafeln und 27 Abbildungen. 105 Seiten. (Serie A Band 19.)

Ein Spezialist auf dem Gebiete der Jagdzoologie gibt hier eine vortreffliche Darstellung der zum einheimischen Federwild gehörigen Vogelarten unter Berücksichtigung der neuesten Beobachtungen und Forschungen.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung oder direkt vom Verlage
..... Strecker & Schröder in Stuttgart .....

BINDING SECT. MAY 5 1964

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

GB
501
P4

Penck, Walther
Naturgewalten im
hochgebirge

UTL AT DOWNSVIEW
D RANGE BAY SHLF POS ITEM C
39 11 06 02 06 008 1